



Tielaitos

Jouni Ojala

Simulointi liikenteen telematiikan vaikutusten tutkimusvälineenä

**Tielaitoksen
selvityksiä**

32/1997

Helsinki 1997

Tiehallinto

Tielaitoksen selvityksiä
32/1997

Jouni Ojala

**Simulointi liikenteen telematiikan
vaikutusten tutkimusvälineenä**

Tielaitos
Tiehallinto

Helsinki 1997

2. painos
ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-363-5
TIEL 3200478
Oy Edita Ab
Helsinki 1997

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallintopalvelut,
painotuotemyynti
Telefaksi 0204 44 2202

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde 0204 44 150

TIIVISTELMÄ

Liikenteen telematiikka tarjoaa monenlaisia keinoja, joilla voidaan vaikuttaa väylillä liikkuvan liikenteen sujuvuuteen ja turvallisuuteen. Telematiikalla uskotaan myös olevan liikenteen ympäristöhaittoja vähentävä vaikutus. Monien telemaattisten ratkaisujen vaikutuksista ei kuitenkaan ole käytännön kokemuksia, koska ne edustavat uutta tekniikkaa ja uusia ajatusmalleja. Tällöin tietokonesimulointi on lähes ainoa käyttökelpoinen menetelmä, jolla voidaan kerätä systemaattista tietoa järjestelmien vaikutuksista ennen käytännön toteutusta.

Mikrotason tarkastelu on yleistymässä liikenteen simuloinnin kaikilla osa-alueilla. Mikrosimulointimallit ovat käyttäytymistieteellisesti makromalleja realistisempia, koska ne voivat kuvata dynaamisten ilmiöiden vaikutusta liikenneyksiköihin suoremmin. Mikromallien haittapuolia ovat niiden suuret validointi- ja lähtötietovaatimukset sekä mallin laatimisen ja käytön tekniset vaatimukset.

Liikenteen simulointimallien ja -ohjelmien kehitystyö on yleensä tehty korkea-kouluissa ja tutkimusorganisaatioissa, joissa niitä yhä enimmäkseen käytetään. Liikenteen simulointiohjelmistoissa on usein melko hankala käyttöliittymä hienoista liikenneteknisistä yksityiskohdista huolimatta. Ohjelmistot ovat kuitenkin muuttumassa helppokäyttöisemmiksi tietotekniikan kehittymisen myötä ja ohjelmistojen käyttötarpeen sekä käyttäjäkunnan kasvaessa. Monesta perinteisestä ja uudesta simulointiohjelmasta on kehitteillä tai jo julkaistu Windows-käyttöjärjestelmään laadittu versio. Käytön ohella myös mallien laadinnan tueksi on kehitetty vuorovaikutteisia editoriohjelmiä ja tietojärjestelmien yhteensovitusta.

Mallien inventointi osoittaa, että telematiikan vaikutuksia on koetettu kuvata monilla malleilla. Käynnissä on voimakas kehitystyö, joka ei kuitenkaan ole vielä niin pitkällä, että käytettävissä olisi monien telematiikkaratkaisujen vaikutusten arvioimiseen soveltuvia simulointiohjelmiä. Kehitys on kuitenkin nopeasti viemässä tähän suuntaan.

Simulointiohjelmistojen hankinnassa tulisi keskittyä hyvin validoituihin, integroituihin ja Suomen oloihin soveltuviin ohjelmistoihin. Liikenneministeriö ja kauppa- ja teollisuusministeriö voisivat tukea tällaisten ohjelmistojen hankintaa. HUTSIM edustaa suomalaista asiantuntemusta liikenteen simuloinnissa ja sen integrointi-, käyttöjärjestelmä- ja telematiikkakehitystä kannattaisi tukea. Samaten kannattaisi panostaa myös kysynnän, sää- ja keliolosuhteiden, turvallisuusvaikutusten ja tiedotusjärjestelmien simuloinnin kehittämiseen, sillä näillä hyvin keskeisillä alueilla tarvitaan vielä runsaasti kehitystyötä.

Key words: simulation, telematics, effects, assessment

ABSTRACT

Transport telematics offers many methods to affect on transport efficiency and safety on roads. Telematics also supposed to have positive impact on environmental effects of traffic. There is still a lack of empirical experience of effects of many telematic solutions, because they represent new technology and new ideas. Hence, a computer simulation is almost the only useful method to collect systematical data on effects of systems before implementation.

Microscopic processing is becoming more common in every sector of traffic simulation. Microscopic models are behaviorally more realistic than macroscopic models, because they can describe the effects of dynamic phenomena more directly. The weak points of microscopic models are their great requirements to validation and input data and technical requirements to building and usage of a model.

The development work of traffic simulation models and programs has normally been done in universities and research organisations, where they still mostly are used. Traffic simulation programs have typically rather difficult user interface despite of fine traffic technical details. However, programs are becoming easier to use due to development of computing technology and growth of program usage with increase of users. Many traditional programs have been adapted and new programs developed to run using Windows platform. Along with usage also the building of models have been supported by development of interactive editor programs and combination of data systems.

The invention of models shows that the effects of telematics have been tried to assess with many models. An intensive development work is underway, but it has not proceeded far enough, so that there were suitable simulation programs to assess many different telematic solutions. However, the development is quickly leading that way.

On providing the simulation programs, one should concentrate on well validated, integrated programs, that fit the Finnish circumstances. The ministry of transport and communications and the ministry of industry could support the delivery of these programs. HUTSIM represents the Finnish expertise in traffic simulation and its integration, user interface and telematic development are worth supporting. Also demand simulation, weather and road condition simulation, simulation of safety effects and simulation of information systems should be contributed. These very important sectors still need a lot of development work.

The study has been granted European Community financial aid in the field of Trans-European Networks - Transport.

ALKUSANAT

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan simulointia tieliikenteen telematiikan vaikutusten tutkimuksessa ja keskitytään väylille sijoittuvaan liikenteeseen. Raportissa selvitetään simuloinnin soveltuvuutta erilaisten telemaattisten ratkaisujen vaikutusten arviointiin ja esitetään arvioita lupaavimmista simuloinnin sovellusalueista ja menetelmistä.

Raportin on laatinut DI Jouni Ojala. Projektin johtoryhmään ovat kuuluneet TkT Risto Kulmala Tielaitoksesta, TkT Jussi Sauna-aho liikenneministeriöstä ja ma prof. Matti Pursula Teknillisestä Korkeakoulusta.

Projektiin liittyy kolme tietokonedemonstraatiota, jotka tekivät TkL lisäksi Kosonen, TkL Antero Karppinen, DI Jarkko Niittymäki, DI Kari J. Sane ja tekn. yo Vesa Laakko. Demonstraatiokuvaukset perustuvat heidän raportteihinsa. Lisäksi TkL Nina Karasmaa laati kysynnän simulointiohjelmien kuvaukset.

Selvityksen tekemiseen on saatu Euroopan unionin liikenteen perusrakenteen kehittämiseen tarkoitettua TEN-T (Trans-European Networks - Transport) -rahoitusta.

Helsingissä heinäkuussa 1997

Tielaitos

Sisältö

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1	LIIKENTEEN TELEMATIikka	9
	1.1 Telematiikka liikenteen hallinnassa	9
	1.2 Telematiikan toimintojen ryhmittely	9
2	TELEMATIIKAN VAIKUTUKSET	12
	2.1 Telematiikan vaikutusten ryhmittely	12
	2.2 Liikenteen telematiikan vaikutusten arviointi	13
3	LIIKENTEEN SIMULOINTI	16
	3.1 Yleistä simuloinnista	16
	3.2 Tieliikenne simulointikohteena	16
	3.3 Simuloinnin hyödyt ja ongelmat	17
	3.4 Simulointitekniikoiden ryhmittely	18
	3.4.1 Mallin aikakäsite	18
	3.4.2 Liikennevirran käsittelytapa	19
	3.4.3 Päivitysmenetelmät	20
	3.4.4 Tarkastelumittakaava	20
	3.4.5 Liikenneympäristö	21
	3.5 Simuloinnissa sovellettavia menetelmiä	21
4	SIMULOINNIN KÄYTTÖ LIIKENTEEN TELEMATIIKAN VAIKUTUSTEN TUTKIMISESSA	24
	4.1 Erilaiset mallit telematiikan vaikutusten tutkimisessa	24
	4.2 Simuloinnin kohteita	25
	4.2.1 Kysynnän simulointi	25
	4.2.2 Tiedotusjärjestelmät	26
	4.2.3 Liikenteenohjaus	27
	4.2.4 Maksujärjestelmät	30
	4.2.5 Ajoneuvonhallinta	31
	4.3 Telematiikan vaikutusten arvioimiseksi tehdyt simuloin- tikokeet	34
5	SIMULOINTIOHJELMISTOJEN ESITTELY	37
	5.1 Yleistä	37
	5.2 Kysynnän simulointimallit	37
	5.3 Liikenteen mikroskooppiset simulointiohjelmat	45
	5.4 Liikenteen makroskooppiset simulointiohjelmat	56
	5.5 Liikenteen mesoskooppiset simulointiohjelmat	58

6	SIMULOINTIDEMONSTRAATIOT	63
6.1	Selvityksen yhteydessä tehdyt simulointidemonstraatiot	63
6.2	Automaattisen nopeuden ja ajoneuvovälin säädön vaikutus taajamaliikenteeseen	64
6.2.1	Tausta	64
6.2.2	Göteborgin demomalli	65
6.2.3	Helsingin Mannerheimintien malli	68
6.3	Liikennevalojen vapaan oikean vaikutus Turunväylän ja Kehä I:n liittymässä	70
6.3.1	Lähtökohta	70
6.3.2	Tavoitteet	71
6.3.3	Simulointimalli	71
6.3.4	Mallin oikeellisuus	73
6.3.5	Koeasetelma ja tuotantoajojen tulokset	73
6.3.6	Kokemuksia suuren alueen simuloinnista	77
6.4	Liikenneinformaation vaikutus Kehä I:n häiriötilanteessa	78
6.4.1	Tutkimuskohde	78
6.4.2	Käytetty ohjelmisto ja verkko	78
6.4.3	Tulokset	81
6.4.4	Yhteenvedo	85
7	PÄÄTELMIÄ LUPAAVIMMISTA SIMULOINTIMENETELMIEN SOVELLUSALUEISTA JA KEHITYSSUUNNISTA	86
7.1	Yleishavainnot ja -suositukset	86
7.2	Sovellusaluekohtaiset havainnot ja suositukset	86
7.2.1	Kysyntä	86
7.2.2	Tiedotusjärjestelmät	87
7.2.3	Liikenteenohjaus	88
7.2.4	Maksujärjestelmät	88
7.2.5	Ajoneuvonhallinta	88
	LÄHDELUETTELO	90
	LIITTEET	94

1 LIIKENTEEN TELEMATIikka

1.1 Telematiikka liikenteen hallinnassa

Liikennetekniikassa liikenteen ohjauksen käsite on tekemässä tietä liikenteen hallintana tunnetulle laajemmalle ajattelutavalle, jossa tarkoituksena ei ole pelkästään ajoneuvojen ja liikennevirran ohjailu, vaan myös liikennesurssien käytön optimointi ympäristöä unohtamatta.

Liikennemäärien jatkuvasti kasvaessa ja lähestyessä verkon suorituskykyä tulee liikenteen joustava hallinta entistä tärkeämmäksi. Tähän liittyy myös nopeasti kehittyvä liikenteen telematiikka, joka tarjoaa monia mahdollisuuksia niin perinteisen valo-ohjauksen kuin dynaamisen reittiopastuksen, muuttuvien opasteiden ja häiriötilanteiden valvonnan alueella.

Telematiikka on se osa tietotekniikkaa, joka sisältää sekä tietoliikennetekniikkaa että tietojenkäsittelytekniikkaa. Liikenteen telematiikka on joukko tekniikoita, joilla kerätään ja käsitellään tietoa väyläoloista, liikenteestä ja liikkumisesta ja hyödynnetään sitä liikenteen ohjauksessa, tiedottamisessa tai kaluston ja yksittäisten ajoneuvojen hallinnassa. Liikenteen telematiikka on liikenteen hallinnan apuväline, jolla pyritään vaikuttamaan liikenteen kysyntään, kulkumuotojakumaan, reitin ja matkan ajankohdan valintaan sekä liikkujien käyttäytymisen tavalla, joka parantaa liikenteen tehokkuutta, turvallisuutta, taloudellisuutta, ympäristöystävällisyyttä ja matkustusmukavuutta. (Noukka 1995.)

Liikenteen telematiikka tarjoaa hyvin monenlaisia keinoja, joilla voidaan vaikuttaa väylillä liikkuvan liikenteen sujuvuuteen ja turvallisuuteen. Nämä liikennevirran ohjaamiseen tarkoitetut keinot perustuvat aikaisempaa monipuolisempien ajantasaisen mittaustietojen keräämiseen ja hyväksikäyttöön liikenteen hallinnassa. Teoriassa kuljettajille annettu informaatio ja ajoneuvojärjestelmien lisääntyvä älykyys kasvattavat väylien liikenteenvälityskykyä ja parantavat liikenneturvallisuutta. Sujuva ja edullisimmille reiteille ohjattu liikenne aiheuttaa myös vähäisempiä ympäristöhaittoja.

1.2 Telematiikan toimintojen ryhmittely

Eurooppalaisessa liikenteen telematiikan tutkimusohjelmassa DRIVE II:ssa liikenteen telematiikan toiminnot on jaettu kymmeneen osa-alueeseen (Uusiheimala 1996):

- tiestön ja siihen liittyvien palvelujen ylläpito (esim. ympäristön, tien kunnan ja tieolojen seuranta, pelastuspalvelun ja kunnossapidon ohjaus sekä tiemaksujen perintä)
- kysynnän hallinta (kysynnän rajoittaminen, esim. alueelle pääsyn rajoittaminen ja reittien muuttaminen; tarjonnan ohjaus, esim. henkilöautojen yhteiskäytön ja kuljetus- ja kulkutavan vaihtamisen suosiminen)
- liikenteen ohjaus (esim. paikallinen liikenteen ohjaus: ramppiohjaus, kaistaohjaus, liikenteen ohjaus tunnelissa tai sillalla; verkkotason

liikenteen ohjaus: nopeuksien rajoittaminen, kaistojen sulkeminen, valo-ohjelmien muuttaminen)

- pysäköinnin hallinta (esim. pysäköintialueiden hallinta, pysäköinnin opastus ja pysäköintipaikan varaus ja maksaminen)
- joukkoliikenteen hallinta (esim. joukkoliikennematkaan liittyvän informaation välittäminen matkustajille, joukkoliikennemaksujen perintä, kysyntäohjauksisen joukkoliikennepalvelun tarjoaminen)
- liikennetieto (esim. ajantasaiseen liikennetilanteeseen perustuvan reittitiedon välittäminen kuljettajille)
- matkatieto (esim. matkan suunnitteluun liittyvien reitti- ja aikataulutietojen sekä tiestön pysyviä ominaisuuksia kuvailevan tiedon välittäminen tienkäyttäjille)
- tavarakuljetusten ja kuljetuskaluston hallinta (esim. kuljetuskaluston seuranta, ohjaus ja reititys sekä riskialttiiden kuljetusten seuranta)
- ajoneuvon liikkeen hallinta (esim. ajoympäristön ja tien seuranta, ajoneuvon sivu- ja pituussuuntaisten liikkeiden ohjaus ja kuljettajan ja ohjauskeskuksen välisen tiedonvaihdon hallinta)
- sisäiset palvelut (esim. havaitseminen ja mittaus, mallintaminen, paikkatietojärjestelmän ylläpito ja hoito, rekisteröinti ja tilastointi).

Telematiikkatoiminnot voidaan jakaa eri ryhmiin myös vaikutustensa perusteella. Eri toiminnot muuttavat liikkujien käyttäytymistä eri tavoilla, mikä asettaa erilaisia vaatimuksia vaikutusten arvioinnissa käytettäville simulointityökaluille. Seuraavassa on esitetty jako kuuteen ryhmään (Algers 1996):

- a) Liikenteen valo-ohjaus käsittelee pääasiassa ohjausperiaatteita ja ohjausjärjestelmän yhteistoimintaa. Käyttäytymistarkastelut eivät ole (punaista päin ajamista lukuun ottamatta) keskeisiä, koska valo-ohjausjärjestelmällä on voimakas ohjausvaikutus. Tarkasteluissa tulee sen sijaan pystyä määrittämään todelliset ajoajat valo-ohjausjärjestelmän analysointi voi olla monimutkainen tehtävä. Tuloksena saatavilla matka-ajoilla on vaikutuksia matkustuskäyttäytymiseen, jota voidaan simuloida reitin, kulkumuodon, määräpaikan ja matkustusajankohdan huomioon ottavilla (neliporras-) ennustemalleilla.
- b) Moottoritieohjaus käsittelee pääasiassa järjestelmän välityskykyä. Esiin nousevat sekä tiedotus- että ohjausvaikutukset. Niitä voidaan kuvata liikennevirtateorioista johdetuilla malleilla. Esimerkkejä näistä ovat ajoneuvovälin säätö, nopeus- ja kaistaohjaus.
- c) Opastus käsittelee reitinvalintaa matkan aikana. Sillä on sekä tiedotus- että ohjausvaikutuksia (jälkimmäisiä erilaisen tiedonsaannin vuoksi). Näiden toimintojen arviointi edellyttää yksityiskohtaisia analyysejä reitinvalintakäyttäytymisestä, jossa täytyy ottaa huomioon, että eri tienkäyttäjärühmät arvottavat asioita (esim. matka-aikaa, kustannuksia, tietyyppejä) eri tavalla. Analyysiohjelmistojen täytyy kyetä käsittelemään tätä ongelmaa (monen käyttäjäryhmän sijoittelua) verkollis-

sijoittelua) verkollisten vaikutusten kuvaamiseksi.

- d) Tiedotus- ja maksujärjestelmä sisältää ennen matkaa saatavaa informaatiota. Sillä voi olla merkitystä sekä kulkutavan-, määräpaikan- että matkaluvun suhteen. Matkustusajan valinta on erityisen kiinnostava tekijä, joka tulisi liittää perinteiseen neliporrasmalliin.
- e) Nopeudensovitus muodostuu pääasiassa turvallisuutta ajoneuvon kannalta käsittelevistä toiminnoista. Turvallisuusvaikutusten tarkastelussa täytyy käyttää epäsuoria mittareita, kuten aikavälejä, nopeuseroja ja väistöliikkeitä. Näitä vuorostaan käytetään ajoneuvojen käyttäytymisen kuvaamiseen eri tietyypeillä.
- f) Viimeinen ryhmä käsittelee eri kulkutapojen yhteiskäyttöä (esim. henkilöauton yhteiskäyttö, liityntäpysäköinti). Yhteiskäytön arviointi vaatii, että tarkasteluissa otetaan huomioon eri kulkutapavaihtoehdot ja yhteiskäyttäjien löytymistä kuvaavat todennäköisyysmekanismi.

2 TELEMATIIKAN VAIKUTUKSET

2.1 Telematiikan vaikutusten ryhmittely

Liikenteen telematiikan vaikutukset voidaan jakaa seuraaviin pääluokkiin (European Commission 1996):

- liikenneturvallisuus
- liikenteen sujuvuus
- ympäristö ja energia
- liikenteen varaamat ja kuluttamat voimavarat ja kustannukset
- käyttäjien suhtautuminen.

Liikenteen telematiikan vaikutusten suuruus riippuu merkittävästi järjestelmien käyttöpolitiikasta, tiedotuksen laadusta ja ihmisten käyttäytymisen muutoksista. Eri osajärjestelmien käyttöpolitiikasta ja ohjausstrategioista päättävät tavallisesti valtio, kunnat ja järjestelmäoperaattorit, mutta päätöksiin vaaditaan tietoa odotettavissa olevista käyttäytymismuutoksista. Tiedotuksen laatua ja käyttäytymismuutoksia sekä erityisesti niiden vuorovaikutusta tulee lähivuosina tutkia mallien kehitystyön tueksi. Muita tärkeitä seikkoja ovat maksuhalukkuus ja käyttäjäystävällisyys. (Algers ym. 1996.)

Vaikutuksia voidaan tarkastella esim. *taulukon 1* mukaisten parametrien ja avulla. Tietty vaikutusparametri voi liittyä useaan vaikutusluokkaan. Vaikutusparametrit voidaan määritellä eri tavoin, esim. keskiarvona tai hajontana laskettuna ajoneuvoista, ajasta tai matkasta.

Taulukko 1. Telematiikan vaikutusten arviointiparametrit (Hotz ym. 1994)

Vaikutusparametri	Päävaikutukset			Muut vaikutukset	
	Liikenne- turvallisuus	Liikenteen sujuvuus	Ympäristö ja energia	Palvelu- taso	Hallinnan vakaus
CO-päästöt			X		
Matka-aika		X		X	
Nopeus	X			X	X
Kaistanvaihdot	X			X	X
Liikennetiheys		X		X	
Jonoprosentti		X		X	
Liikennevalojen vaihtumistiheys					X
Polttoaineenkulutus		X	X		
Ajoneuvokilometrit	X	X	X		
Ajoneuvotunnit		X		X	

Liikenteen telematiikkaratkaisuilla on eri tyyppisiä vaikutuksia. Liikenteen ohjaus vaikuttaa ensi sijassa liikenteen sujuvuuteen, mutta tietyssä määrin myös reitinvalintaan. Informaatiojärjestelmän vaikutukset kohdistuvat lähinnä matkan ajankohtaan ja kulkutavan valintaan, mutta myös reitinvalintaan ja ajotapaan. Opastusjärjestelmä vaikuttaa pääasiassa reitinvalintaan, tiemaksut sekä matkamääriin että kulkutavan- ja reitinvalintaan. Nopeudensovitamisjärjestelmät vaikuttavat lähinnä liikenteen sujuvuuteen ja turvallisuuteen. (Lind 1996.)

TOSCA II -projektin analyysien perusteella liikenteen telematiikan kokonaisvaikutukset riippuvat lähinnä seuraavista tekijöistä (Algers ym. 1996):

- valo-ohjauksen suorat viivytys- ja kapasiteettivaikutukset
- käsitys tila- ja kapasiteettiongelmista tie- ja katuja järjestelmässä
- liikennevalo-, moottoritieohjauksen jne. toteuttamisstrategiat
- käsitys matkan suunnitteluun tarvittavasta informaatiosta (kulkutapa, yhteydet, reitinvalinta, myöhästymiset, pysäköinti jne.)
- järjestelmän tavoitettavuus matkan suunnittelun kannalta
- järjestelmän tuottaman informaation ajantasaisuus
- onnettomuuksista, tapahtumista ja tietöistä aiheutuvat häiriöt
- liikenteenhallintakeskuksesta lähetettävän häiriöinformaation ajantasaisuus ja tarkkuus
- kuljettajien taipumus seurata viitoitusjärjestelmän ohjeita
- opastusjärjestelmän rakenne ja ohjausvaikutus
- nopeudensovitusjärjestelmän tuottama tieto (sää, keli, ajoneuvoväli)
- järjestelmän kyky puuttua tapahtumiin
- järjestelmän pakottavuus.

2.2 Liikenteen telematiikan vaikutusten arviointi

Liikenteen telematiikkahankkeiden vaikutuksia voidaan arvioida mm.

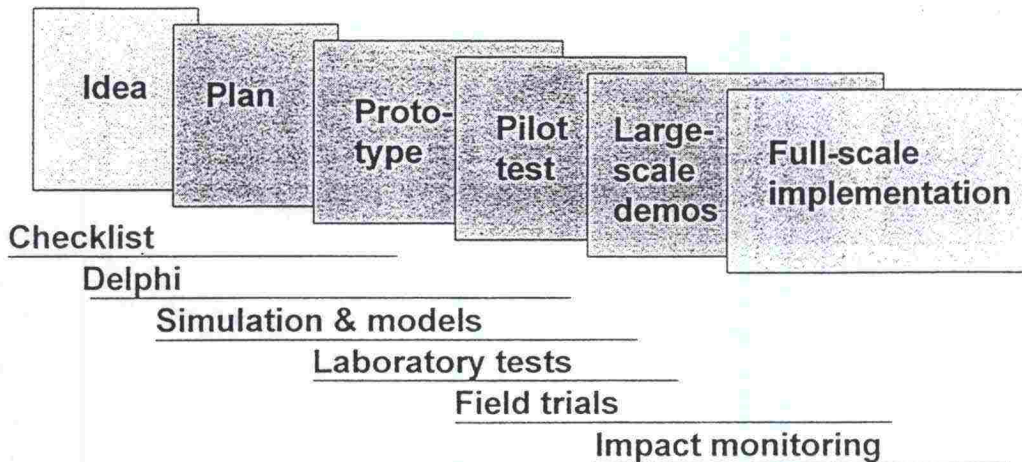
- keräämällä asiantuntija-arvioita
- mallintamalla ja simuloimalla
- kenttäkokeilla sekä
- tutkimalla toteutettujen järjestelmien vaikutuksia.

Arviointimenetelmän soveltuvuus riippuu järjestelmän kypsyysasteesta.

Mallintamisella ja simuloinnilla jäljitellään todellisia tapahtumia. Simulointi on ilmiön jäljittelyä tietokoneella, eikä sillä yleensä pyritä matemaattiseen ratkaisuun, vaan analyysi tapahtuu seuraamalla mallin toimintaa ja tilastomallilla tulokset.

Malli on yksinkertaistus todellisuudesta ja se sisältää oletuksia ja yleistyksiä. Mallintamalla voidaan kuitenkin tutkia järjestelmien pitkäaikaisia vaikutuksia, erilaisia olosuhteita ja liikennetilanteita sekä järjestelmien vaikutuksia erilaisilla markkinaosuuksilla, mitä todellisuudessa ei voida tehdä. Mallinnettavasta järjestelmästä on oltava olemassa jo yksityiskohtaiset kuvaukset tai suunnitelmat. (Noukka 1995.)

Mallintaminen on käytännöllistä, koska se mahdollistaa vaihtoehtojen arvioinnin eri lähtöoletuksilla. Se on monissa tapauksissa riskittömämpi, halvempi ja tuloksekkaampi tutkimusmenetelmä kuin yritykseen ja erehdykseen perustuva laboratorio- tai kenttätutkimus (kuva 1). (Underwood, Gehring 1993.)



Kuva 1. Simuloinnin asema liikenteen telematiikan vaikutusten arvioinnissa (Kulmala 1996).

Monet telemaattiset ratkaisut ovat sellaisia, ettei niiden vaikutuksista ole käytännön kokemuksia, koska ne edustavat uutta tekniikkaa ja uusia ajatusmalleja. Tällöin tietokonesimulointi tarjoaa lähes ainoan käyttökelpoisen menetelmän, jolla voidaan kerätä systemaattista laadullista ja määrällistä tietoa järjestelmien vaikutuksista ennen käytännön toteutusta. Sopivimman teknologian valinta riippuu kuitenkin päätöksentekijöistä ja teollisuudesta.

Liikenteen telematiikan vaikutuksia koskevien arvioiden tuloksia on esitetty taulukossa 2.

TELEMATIIKAN VAIKUTUKSET

Taulukko 2. Yhteenvedo tieliikenteen telematiikan arvioituista vaikutuksista (Noukka 1995, European Commission 1996).

Järjestelmä		Kapasiteetti	Matka-aika	Matkan pituus	Onnettomuudet	Polttoaineen kulutus	Päästöt	Mukavuus
reittiopastus ajoneuvolaitteisiin	ruuhkassa	±0 %	0..-5 %		stressin vähene misellä positiivinen vaikutus liikenneturvallisuuteen, monimutkaisella laitteella negatiivinen		pieni	
	ruuhkan ulkopuolella	0..+5 %	-2..-15 %	-2 %		pieni	jonkin verran	merkitt.
	häiriötilanteissa	0..+9 %	-10..-25 %					merkitt.
	erikoistapahtumissa		-10..-30 %					
reittiopastus muuttuvilla opasteilla		+5..+10 %	0..-10 %		nopeuksien kasvu ja liikenteen siirtyminen sivuteille lisäävät onnett.			posit.
nopeus- ja kaista-ohjaus muuttuvilla liikennemerkkeillä			-10..+10 %		-0..-30 %			
häiriöiden seuranta ja hallinta		+5..+15 %			vähentää onnettomuuksia merkittävästi		pieni	posit.
pysäköinnin ohjaus		lievä posit. vaikutus	0..-20 %	vähentää harhaanajoja		vähent. jonkin verran	jonkin verran	posit. vaikut.
ramppi-ohjaus			-3..-8 % (nopeuttaa pääteillä, hidastaa sivuteillä)	+4..+10 %	liikenteen siirtyminen sivuteille lisää onnettomuuksia	lisää jonkin verran	lisää	jakaa mielipiteet!
joukkoliikenteen informaatiojärjestelmät		posit.	jonkin verran		kevyen liikenteen onnettomuudet lisääntyvät			posit.
kehittynyt liikenteen hallintajärjestelmä (ei automaattista ajamista)		+10..+20 %	-10 %	-10 %	-2..-3 %		kok. -2 % HC -8..-11 % CO -15..-26 % CO ₂ -0,5 %	
tavaraliikenteen reititys ja aikataulutus			-0..-15 %	0..-20 %		0..-5 %	-5..-20 %	posit.
kuljettajan avustaminen (automaattinen nopeuden ja ajoneuvovälin säätö)		+0..+10 %			-3..-30 %	merkitt.	jonkin verran	+/- "holhoaminen"
automaattinen ajaminen		+25..+100 %			-45 %	erittäin merkitt.	jonkin verran	+/- "holhoaminen"

3 LIIKENTEEEN SIMULOINTI

3.1 Yleistä simuloinnista (Pursula 1982)

Simuloinnilla tarkoitetaan yleensä jonkin todellisuuden ilmiön jäljittelemistä tietokoneelle ohjelmoidun mallin avulla. Olennaista on tarkastelun dynaamisuus, ts. simulointimallin avulla seurataan tarkasteltavan ilmiön muutoksia ajan funktiona.

Simulointi on yksi operaatiotutkimuksen menetelmistä. Kun operaatiotutkimuksessa yleensä pyritään ratkaisuun matemaattisten mallien ja tarkastelujen avulla, simuloinnissa tyydytään vain ilmiön jäljittelyyn tietokoneella. Tällöin voidaan käyttää huomattavasti monimutkaisempia malleja kuin matemaattisissa tarkasteluissa.

Simuloinnilla ei kuitenkaan pyritä matemaattiseen ratkaisuun, vaan analyysi tapahtuu seuraamalla mallin toimintaa ja tilastoimalla tulokset. Simulointi on siis valvotussa ympäristössä suoritettu koe, jossa muuttujia voidaan hallita. Tämän vuoksi koesuunnitteluun ja tulosten analysointiin on kiinnitettävä erityistä huomiota.

Yleisimmät syyt simuloinnin käyttämiseksi tutkimus- ja suunnittelukeinona ovat seuraavat:

1. Halutaan tutkia järjestelmän toimintaa ennen sen toteuttamista.
2. Halutaan vertailla eri järjestelmiä täsmälleen samoissa olosuhteissa.

3.2 Tieliikenne simulointikohteena (Kosonen, Pursula 1996)

Liikennejärjestelmien toimintaa voidaan tarkastella joko koko järjestelmän tai yksittäisellä väylällä liikkuvan liikennevirran kannalta. Liikennejärjestelmäanalyysissä päämielenkiinto kohdistuu liikennepalvelujen kysyntään eli väestön liikkumistottumuksiin ja tarjontaan eli keinoihin, joilla kysyntää voidaan tyydyttää. Liikennevirta-analyysissä puolestaan ollaan kiinnostuneita väylällä liikkuvan liikennevirran sisäisistä lainalaisuuksista, kuten eri liikenneyksiköiden välisistä vuorovaikutuksista erilaisissa ympäristöissä.

Liikennejärjestelmäanalyysi tarvitsee käyttöönsä liikennevirtatutkimuksen tietoja liikennepalveluksia tarjoavien teknisten järjestelmien kuvaamiseen (matka-ajat, välityskyvyt, jne.) ja tulevien järjestelmäinvestointien suunnitteluun. Simulointia voidaan käyttää sekä liikkumistottumusten mallintamisessa että liikennevirta-analyysissä.

Tieliikennejärjestelmä perustuu siihen, että järjestelmän käyttäjät sopeuttavat toimintansa liikennesääntöjen edellyttämällä tavalla muiden liikkujien toimintaan. Liikenteessä on siten kysymys ihmisen ja teknisten järjestelmien monimutkaisesta ja monisuuntaisesta dynaamisesta vuorovaikutuksesta. Inhimillinen elementti merkitsee välttämättä hajontaa järjestelmän sisäisiin parametreihin. Ajonopeuden valinta, seurantaetäisyys jonossa ja ohituskäyttäytyminen ovat tyypillisiä esimerkkejä ominaisuuksista, jotka vaihtelevat yksilökohtaisesti. Kun lisäksi otetaan huomioon liikenneympäristön vaihtelut (ääripäinä esimerkiksi moottoritie ja pihakatu) sekä ajoneuvojen väliset erot,

on selvää, että liikennevirran kuvaamisessa tarvitaan usein hyvinkin monimutkaisia malleja.

Simulointi kehittyi liikennevirtatutkijoiden työkaluksi 1970-luvulla ja sen merkitys on jatkuvasti kasvanut. Simuloinnin edut liikenteen analysoinnissa ovat ilmeiset. Sen avulla voidaan tarkastella tilanteita, joiden käsittely todennäköisyyslaskennan tai muiden matemaattisten menetelmien avulla on mahdollista vain yksinkertaisessa muodossa.

3.3 Simuloinnin hyödyt ja ongelmat

Hyvällä suunnittelulla ja kehittyneillä ohjausjärjestelmillä olemassa olevasta liikenneverkosta saadaan irti paras mahdollinen teho. Näin saavutettu hyöty mahdollistaa joko suuremmat liikennemäärät, pienemmät viivytykset, vähäisemmät päästöt tai esim. tehokkaammat joukkoliikenne-etuudet. Simuloinnin avulla edut ja haitat on mahdollista arvioida etukäteen. (Kosonen, Pursula 1996.)

Simuloinnin keskeisin hyöty on siinä, että se tarjoaa suhteellisen edullisen tavan testata ja arvioida vaihtoehtoisia liikennejärjestelyjä. Liikenteen infrastruktuuriin tehtävien investointien rinnalla simuloinnin kustannukset ovat vähäiset, mutta ratkaisujen ennalta tapahtuvalla testauksella voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä. Kenttätutkimukseen verrattuna tietokonesimuloinnilla on seuraavia etuja:

- Se on halvempaa.
- Tuloksia saadaan nopeasti.
- Simuloinnilla tuotettu tieto sisältää useita tunnuslukuja, joita ei helposti saada kenttätutkimuksista.
- Simuloimalla voidaan vertailla erilaisia ratkaisuja täsmälleen samassa liikennetilanteessa, mikä ei käytännössä ole mahdollista liikenteen runsaiden satunnaisvaihteluiden vuoksi.
- Kenttäkokeissa usein aiheutuva liikenteen häiriintyminen vältetään.
- Monet vaihtoehdot edellyttävät rakenteilta merkittäviä muutoksia, jotka eivät ole hyväksyttäviä koetarkoituksessa.
- Tulevaisuuden liikenteen kysynnän toiminnallisten vaikutusten arviointi täytyy suorittaa simuloimalla tai vastaavalla analyttisellä menetelmällä.

Simuloinnin ongelmat puolestaan liittyvät simulointimallien realismisuuteen eli kykyyn kuvata oikeita ja ongelman kannalta tärkeitä vuorovaikutussuhteita. Mallit onkin huolellisesti validoitava ja kalibroitava.

Joidenkin mallien on väitetty olevan niin monimutkaisia, että niiden hyötyjä ja lukuisien muuttujien vuorovaikutusta on vaikea arvioida. Järjestelmän tehokas hyödyntäminen edellyttää, että malli kuvaa tarkasti liikenteen käyttäytymistä. Malli voi olla vain niin hyvä kuin teoria, johon se pohjautuu. Jos teoria on epätarkka, ei tulosta pelasta edes tekninen edistyneisyys. (Forward 1993.)

Simulointia käytetään liikennetekniikassa varsin yleisesti erilaisten liikennevirtaongelmien analysointiin. Nykyaikaisten ohjelmistojen helppokäyttöisyys ja joustavuus ovat omalta osaltaan vaikuttaneet käytön yleistymiseen. Simulointi yhdistettynä korkeatasoiseen animaatiotekniikkaan tekee mahdolliseksi erilaisten vaihtoehtojen ja ongelmien havainnollisen esittelyn päätöksentekijöille ja suurelle yleisölle. (Kosonen, Pursula 1996.)

Simulointimallit laajentavat huomattavasti uusien liikenteen hallinnan ratkaisujen kehitysmahdollisuuksia. Keinojen puute ei enää rajoita suunnittelijoita ja insinöörejä testaamasta ideoitaan. Mallin tuottamat tulokset helpottavat suunnittelijoita havaitsemaan ratkaisujen heikkoudet ja auttavat valitsemaan parhaan ratkaisuvaihtoehdon. Kenttäkokeen onnistumistodennäköisyys on sen jälkeen erittäin korkea.

3.4 Simulointitekniikoiden ryhmittely

3.4.1 Mallin aikakäsite (Sorsa 1994)

Simulointimallit voidaan jaotella usealla eri tavalla. Tärkeimmät jaotteluperusteet ovat mallin aikakäsite ja mallin muuttujien toiminnan kuvaaminen.

Aikakäsitteeltään simulointimalleja on kahdenlaisia: jatkuvia ja epäjatkuvia eli diskreettejä. Niiden edellyttämät mallifilosofiat ja käyttötavat ovat varsin erilaisia.

Jatkuva-aikasimuloinnissa yksittäisiä tapahtumia ei erotella, vaan liikennevirtaa käsitellään ajan funktiona samoilla matemaattisilla säännöillä kuin nestevirtausta. Pyrkimyksenä on selvittää tarkasteltavien muuttujien dynaamiset käyttäytymispiirteet.

Jatkuva-aikasimuloinnilla ei myöskään pyritä luomaan tilastollista aineistoa, vaan tulokset esitetään aikasarjoina. Satunnaislukuja ja satunnaisuutta ei juurikaan käytetä. Nimestään huolimatta jatkuva-aikasimuloinnissakin käytetään aika-askelta. Se on kuitenkin suuruudeltaan vakio ja niin pieni, ettei käyttäjä sitä näe. Liikennetekniikassa jatkuva-aikasimulointia käytetään melkein yksinomaan liikennevirtamalleissa.

Diskreettiaikasimuloinnilla tarkoitetaan reaalisysteemin epäjatkuvien tapahtumien mallintamista. Olennainen ero jatkuva-aikasimulointiin on siinä, että mallissa on kuvattava jokainen reaalisysteemin käyttäytymiseen vaikuttava yksittäinen olio, samoin kuin sen ominaisuudet ja käyttäytymissäännöt.

Diskreettiaikasimulointia käytettäessä ollaan yleensä kiinnostuneita kuvattavan reaalisysteemin toiminnasta, sen tehokkuudesta, pullonkauloista jne. Tyypillisimpiä simulointikohteita ovat erilaiset jonotusongelmat.

Muuttujien toiminnan kuvaamisen mukaan simulointimallit voidaan jaotella kolmeen eri luokkaan: diskreetin tilan, jatkuvan tilan ja sekatiilan mallit. Diskreetin tilan malleissa muuttujat, kuten esimerkiksi nopeus ja sijainti, saavat diskreettejä arvoja, kun taas jatkuvan tilan malleissa muuttujien vaihteluvälit ovat jatkuvia. Sekatiilan malleissa käytetään kumpaakin muuttujatyyppeä.

3.4.2 Liikennevirran käsittelytapa

Simulointimallit voidaan jakaa sisältönsä ja ominaisuuksiensa (esim. yksityiskohtaisuus, tarkasteluajaväli ja dynaamisuus/staattisuus) mukaan. Yleensä simulointimallit jaetaan kolmeen ryhmään: makroskooppisiin, mesoskooppisiin ja mikroskooppisiin.

Makroskooppiset mallit simuloivat tavallisesti laajoja verkkoja ja liikennettä käsitellään systeemin läpi virtaavan nesteen tavoin. Perinteinen makromalli perustuu tieosuuksiin, joita kutsutaan linkeiksi ja olettamuksena on, että ajoneuvojen viivytykset riippuvat linkeillä kuluneesta ajasta, ei niinkään liittymäviivytyksistä. Makromallien toinen sukupolvi yrittää ottaa huomioon liittymäviivytykset kaupunkiolosuhteiden esittämiseksi. Makrotason simulointi on yleensä jatkuva-aikasimulointia. (Forward 1993.)

Mikroskooppiset mallit pyrkivät simuloimaan yksittäisen tienkäyttäjän käyttäytymistä sekä suhteessa toisiin tienkäyttäjiin että tieverkkoon. Mikroskooppisten ohjelmistojen simulaatioihin ei yleensä sisälly reitinvalintaa. Ajoneuvot saapuvat yksitellen diskreetin aikavälijakauman mukaan ja matkallaan ne kohtaavat joukon tapahtumia (esim. liikennevalojen vaihtuminen, jonot ja ajoneuvotukokset). Ajoneuvojen toiminta tilanteessa on satunnaista. Valinnat perustuvat "havaittuihin" kustannuksiin tai aikaan. Jokaisen verkkoon saapuvan ajoneuvon ominaisuudet määräytyvät satunnaisesti. Tämän mallin tavoitteena on määrittää kuljettajan reaktio erilaisiin toimintoihin, kuten liikenteen ohjauslaitteisiin, joukkoliikenteeseen, jalankulkuun ja kaistansulkuun. Mikromallit ovat useimmiten diskreettiaikasimulaattoreita. (Forward 1993.)

Perinteisessä mikrosimuloinnissa ajoneuvoa ja sen kuljettajaa tarkastellaan yleensä kokonaisuutena (ajoneuvo-kuljettaja-elementti). Jos mallissa kuvataan myös ajoneuvon ja sen kuljettajan välinen vuorovaikutus, kuten esimerkiksi kuljettajan havainto- ja reaktiotoiminta ja siinä mahdollisesti esiintyvät häiriöt, puhutaan joskus nanotason simuloinnista.

Mesoskooppiset mallit eivät mallinna yksilöitä. Ajoneuvot esitetään ryhmänä tai "pakettina". Ryhmien välisiä eroja voidaan simuloida matka-ajan, verkon rajoitusten, lähtöpaikka-määräpaikkavirtojen ja yleistetyn kustannuksen määritelmän mukaan. (Forward 1993.)

Erilaiset mallit eivät aina ole ristiriidassa keskenään, vaan täydentävät toisiaan. Esimerkiksi mesoskooppiset mallit ovat puhtaiden makro- ja mikromallien välimuotoja tai yhdistelmiä ja niitä on vaikea selittää yksinään.

Telematiikkaratkaisuilla pyritään yleensä vaikuttamaan kuljettajien käyttäytymiseen. Reaktiot voivat olla mitä moninaisimpia ja sen vuoksi on tärkeää käsitellä jokaista tienkäyttäjää omana yksikkönään. Mikroskooppinen malli on suunniteltu kuvaamaan yksittäisten ajoneuvo-kuljettaja-yksiköiden reaktioita ja se voi auttaa selvittämään mahdollisia ongelmia.

Esimerkiksi reittiopastusta tutkittaessa makroskooppista mallia käytettäisiin arvioitaessa ajosuoritetta tai kokonaismatka-aikaa koko verkolla. Mikroskooppisella mallilla tutkittaisiin opastuksen vaikutusta yksittäisen kuljettajan matka-aikaan. Mesoskooppista mallia käytettäessä tutkittavat voitaisiin jakaa eri ryhmiin lähtöpaikan ja määräpaikan perusteella. Mesoskooppinen malli sisältää siis sekä mikro- että makromallien piirteitä. (Noukka 1995.)

Makroskooppisia malleja voidaan käyttää mikroskooppisten asemesta seuraavista syistä:

- Olemassaolevat mikroskooppiset simulointimallit ovat hankalia käyttää ja ohjelmoida, virheherkkiä ja ne ovat vaativia lähtötietojen suhteen.
- Useat olemassaolevat mikroskooppiset mallit ovat vielä kehitystyön alla ja vaativat yhä testausta ja parantelua.
- Mikroskooppisen mallin kalibroitiprosessi saattaa aiheuttaa suuria virheitä, koska kalibroitavien muuttujien todellisesta jakaumasta kuljettaja/ajoneuvopopulaatiossa ei ole paljon tietoa.

3.4.3 Päivitysmenetelmät (Sorsa 1994)

Tietokone ei pysty tarkkailemaan yhtä aikaa kaikkia mallin ajoneuvoja. Tämän takia tärkeä simulointimallin toimintaan vaikuttava tekijä on mallin päivitysmenetelmä. Malli päivitetään systemaattisesti samalla tavalla jokaisella päivityskierroksella. Tähän voidaan käyttää kolmea menetelmää:

- ajoneuvopäivitystä
- aikapäivitystä
- tapahtumapäivitystä.

Ajoneuvopäivityksessä päivitys suoritetaan ajoneuvo kerrallaan niiden esiintulojärjestyksessä. Päivityskierros pitenee ja simulointi hidastuu ajoneuvojen lukumäärän kasvaessa. Menetelmästä tulee hyvin monimutkainen, jos myöhemmin simuloidut ajoneuvot voivat vaikuttaa aikaisemmin simuloitujen ajoneuvojen kulkuun. Tämän vuoksi menetelmää käytetäänkin vain tilanteissa, joissa ajoneuvot vaikuttavat ainoastaan takanaan oleviin ajoneuvoihin.

Aikapäivityksessä ohjelma päivittää tapahtumat aina saman mittaisin aikaväleihin. Aika-askel määräytyy ohjelman käyttötarkoituksen tai tietokoneen laskentatehon mukaan. Aikapäivitys soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa tapahtumia on paljon tai ne ovat jatkuvia. Tyypillinen esimerkki tällaisesta on moottoritie liikenne. Myös autojen seurantamallit voidaan parhaiten simuloida aikapäivitysmenetelmällä niiden jatkuvan luonteen takia.

Tapahtumapäivitysmenetelmässä ohjelma kuvaa tapahtumat niiden ilmestymishetkellä. Ohjelma tutkii simuloinnin etenemistä ja laskee seuraavan tapahtuman hetken, jolloin simulointia päivitetään. Tapahtumapäivitystä käytetään useita epäjatkuvia tapahtumia sisältävässä simuloinnissa. Tällainen on esimerkiksi kuljettajien käyttäytymisen simulointi liittymässä.

3.4.4 Tarkastelumittakaava (Pursula, Silfverberg 1997)

Simuloinnin sovelluskohteet voidaan luontevasti jakaa alueellisen laajuutensa mukaan verkko- ja korridoritason, väylätason ja yksittäisen liittymän tason ongelmiin. Eri tasoilla liikenteen hallinnan ja siten myös simuloinnin tavoitteet ja keskeiset tarkastelusuureet ovat erilaisia.

Yksittäisen liittymän tasolla simuloitaessa ollaan yleensä kiinnostuneita liittymän toimivuudesta ja paikallisen liikenteen ohjauksen vaikutuksista.

Kohde sopii yksityiskohtaiselle mikroskooppiselle simulointimallille, joka sisältää ohjausjärjestelmän ja ajoneuvojen sekä ajoneuvojen ja niiden ympäristön välisten vuorovaikutusten tarkan kuvauksen.

Väylätasolla simuloinnin tavoite ja keskeiset tulossuureet muuttuvat. Useimmiten ollaan kiinnostuneita koko väyläjakson toimivuudesta ja mahdollisten ongelmakohtien sijainnista ja niiden merkityksestä liikenteen sujuvuudelle. Liikenteen nopeustaso on myös erilainen. Tärkeitä asioita ovat mm. ajoneuvojen seuranta suurilla nopeuksilla sekä geometrian vaikutukset (mm. noususuhteet).

Väylätason ongelmat voidaan jakaa selvästi kahteen ryhmään, jotka ovat moottoritietyyppiset väylät ja kaksikaistaiset, kaksisuuntaiset väylät. Moottoriteillä voidaan liikenteen korkealuokkaisen erottelun vuoksi tyytyä simuloimaan yhtä ajosuuntaa kerrallaan. Tämä yksinkertaistaa mallin rakennetta. Kaksikaistaisilla teillä ohituksiin liittyvä problematiikka nousee keskeisen tärkeäksi. Ajoneuvojen on kyettävä realistisesti valitsemaan ohituksen suorituspaikka ja -aika. Tähän päätökseen liittyy sekä liikennetilanne että tien geometria.

Verkko- ja korridoritasolla keskeisiksi uusiksi lisäpiirteiksi nousevat reitinvalintaongelmat ja erilaisten ohjauskeinojen vaikutukset tähän valintaan. Verkkotasolla voidaan tarvittaessa jonkin verran tinkiä yksittäisen ajoneuvon liiketilan ja yksittäisten liittymien tapahtumien kuvauksen tasosta, koska kiinnostuksen kohteena on liikenteen jakautuminen verkkoon ja ongelmakohtien paikallistaminen tai erilaisten ongelmien (kuten häiriöiden) vaikutusten analysointi. Verkko- ja korridoritasolla on, varsinkin aikaisemmin, ollut käytössä myös makroskooppisia simulointiohjelmistoja, jotka jakavat liikenteen verkkoon makroskooppisten periaatteiden mukaan.

3.4.5 Liikenneympäristö

Liikenneympäristöt vaihtelevat ominaisuuksiltaan huomattavasti. Väylätyypin tehtävät määräävät myös simuloinnin tavoitteet ja tarkastelukohteet. Tämän vuoksi simulointiohjelmistot on usein laadittu erityisesti joko tie- tai katuliikenteen simulointiin.

Liikenneympäristö edellyttää simulointimalleilta erilaisia toimintoja. Tieliikenteessä täytyy ottaa huomioon mm. ohituskäyttäytyminen ja ramppiliittymät. Katuliikenteessä tärkeitä mekanismeja ovat mm. kaistanvaihtologiikka ja reitinvalinta. Tieliikenteen simulointi painottuu väylätason tarkasteluun. Katuliikenteen simuloinnissa keskitytään yleensä joko liittymätason tai verkkotason tarkasteluun.

3.5 Simuloinnissa sovellettavia menetelmiä

Stokastinen mikrosimulointi on todellisen maailman matkimista keinotekoisien tietokonemallin avulla. Koska mikrosimulointi käsittelee yksittäisten yksiköiden, kuten ajoneuvojen tai henkilöiden, käyttäytymistä, se on erittäin käyttökelpoinen menetelmä liikenneverkon muutosten analysointiin ja vaihtoehtojen vertailuun. Reitinvalinnan tai valo-ohjauksen muutoksen vaikutusten systemaattinen tarkastelu on mahdollista. (Elefteriadou, Goulias 1995.)

Deterministisissä simuloinneissa kaikki tieto ja järjestelmän osat ovat täydellisesti määriteltyjä ja simulointi muistuttaa herkkyystarkastelua. Stokastisessa simuloinnissa yhtä tai useampaa järjestelmän osaa tai syötettä leimaavat satunnaiset häiriöt. Ne vähentävät simuloinnin tulosten ennustettavuutta todenmukaisesti (eli näennäisesti vastaavissa oloissa liikennejärjestelmän osat saattavat käyttäytyä eri tavalla). (Elefteriadou, Goulias 1995.)

Viime vuosikymmenien aikana liikennevirtaa on analysoitu lähtien olettamuksesta, että on olemassa jokin yleispätevä laki, joka ohjaa liikennevirran ominaisuuksia. Analysointia on tehty sekä mikro- että makrotasolla. Tutkimuksissa on oletettu esimerkiksi, että kahden peräkkäin kulkevan ajoneuvon välillä vallitsee deterministinen suhde. Syy-seuraussuhteen olemassaoloa on turha kyseenalaistaa, mutta ajoneuvon kuljettajan reaktiot muiden kuljettajien toimenpiteisiin tuskin ovat yleispäteviä. Reaktiot ovat pikemminkin seurausta epämääräisemmistä ajosäännöistä, jotka kehittyvät ajokokemuksen myötä. Tapa, jolla sääntöjä toteutetaan, vaihtelee kuljettajien välillä ja myös eri aikoina samoilla kuljettajilla. (Ranta 1994.)

Epävarman päätösprosessin mallintaminen on perinteisesti tehty todennäköisyysteoriaa käyttäen. Todennäköisyysteoriassa käsitellään satunnaisuudesta johtuvaa epävarmuutta. Sumea teoria taas käsittelee epämääräisyydestä ja monimerkityksisyydestä aiheutuvaa epävarmuutta. Epämääräisyys ja monimerkityksisyys syntyvät informaation, arvioinnin, tunteiden ja epätarkan päättelyn tulkinnasta. (Ranta 1994.) Eräissä mikrosimulointiohjelmissa sovelletaan sumeaa teoriaa autonseurantamalleissa kuljettajien käyttäytymisen mallintamiseen.

Liikennevirtamallit toimivat hyvin niissä oloissa, joihin ne on kalibroitu, mutta muissa heikosti. Liikennevirran mallintamisessa voidaan käyttää uusia tekoälytekniikoita, kuten neuraaliverkkoja.

Neuraaliverkoilla on muutamia kiinnostavia ominaisuuksia, jotka puoltavat niiden käyttöä liikenteen mallintamisessa. Ne tuottavat empiiriseen tietoon perustuvan matemaattisen mallin, ne voivat mallintaa monimutkaisia epälineaarisia järjestelmiä ja niitä voidaan opettaa mukautumaan vaihteleviin oloihin. (Ledoux ym. 1995.) Neuraaliverkkoja voidaan käyttää liikenteen simuloinnissa esim. reitinvalinnan mallintamiseen.

Telematiikkahankkeiden suunnittelu edellyttää yleensä simulointia laajan ja samalla yksityiskohtaisen liikennemallin avulla. Mallien laajenemisen aiheuttamat laitetekniset ongelmat voidaan tarvittaessa ratkaista esimerkiksi rinnakkaisella tietojenkäsittelyllä, jossa useat eri mikrotietokoneet simuloivat kukin osaa tutkittavasta järjestelmästä ja kommunikoivat keskenään mallien rajapinnoissa. Näin voidaan pysyä käyttäjien kannalta helpommin hallittavissa laiteympäristöissä. (Pursula, Silfverberg 1997.)

Rinnakkaistietokoneiden käytössä on kaksi ratkaisevasti toisistaan poikkeavaa lähestymistapaa. Yksi tapa on laatia uusi simulointiohjelma, joka käyttää rinnakkaisprosessoinnin tukemia algoritmeja. Toinen tapa on käyttää hyväksi havaittuja simulointiohjelmistoja rinnakkaisprosessointitekniikoiden avulla. Rinnakkaisympäristössä on tehty simulointitutkimuksia mm. NETSIM-ohjelmistoa käyttäen. (Hanebutte, Tentner 1995.)

Suureksi osaksi selvittämätön ongelma on simulointiohjelmien visuaalisen käyttöliittymän kehittyminen kolmiulotteiseksi. Liikenneympäristön näköesteet ja auringonheijastukset vaikuttavat olennaisesti liikenneturvallisuuteen ja edelleen liikenteen sujuvuuteen. Kaksiulotteiset simulointimallit jättävät nämä kolmiulotteiset kohteet tarkastelun ulkopuolelle.

Väheksyttävää ei ole myöskään kolmiulotteisen vaikutelman aiheuttama simulaation uskottavuuden lisääntyminen päätöksentekijöiden mielissä. Moderni teknologia on jo sinällään myyntivaltti. 3D-virtuaalitodellisuutta voidaan simulointimalleissa luoda joko simuloinnin tulosten perusteella animaatiotekniikalla tai jopa mallikielen avulla simuloinnin kuluessa.

Mikrosimuloinnin sovellusalueen laajennus liikenneturvallisuustarkastelujen suuntaan saattaa tulevaisuudessa tehdä kuljettajan havainto- ja reaktiotoimintaa ja sen häiriöitä kuvaavat nanotason mallit nykyistä yleisemmiksi. Nykyistä realistisemman mikroskooppisen simuloinnin yhdistäminen liikenneturvallisuus- ja käyttäytymistutkimuksissa käytettyihin ajosimulaattoreihin interaktiiviseksi 3D-virtuaalimaailmaksi on myös todennäköinen tulevaisuuden kehityssuunta.

4 SIMULOINNIN KÄYTTÖ LIIKENTEEN TELEMATIIKAN VAIKUTUSTEN TUTKIMISESSA

4.1 Erilaiset mallit telematiikan vaikutusten tutkimisessa

Telematiikkasovellusten laajamittaisen käyttöönoton tavoitteena on liikenteen toimintoihin vaikuttaminen. Liikennesuunnittelijoiden suurena haasteena on ennustaa käytön määrälliset ja laadulliset vaikutukset. Mallit eivät pysty suoraan osoittamaan liikenneturvallisuuden tilaa, mutta niiden avulla voidaan saada suhteellisen tarkka käsitys uuden järjestelmän mahdollisista hyödyistä hyvissä ajoin. Erilaiset mallit palvelevat eri tarkoituksia, myös tarkkuudessa on eroja.

Telematiikkasovellusten vaikutusten arviointi edellyttää usein kulkutavan valinnan ja reitinvalinnan huomioonottamista ja liikenteen esittämistä verkolla. Useimmat näitä ominaisuuksia sisältävät mallit ovat kuitenkin lähinnä sijoittelumalleja. Niiden mahdollisuudet telematiikkasovellusten aiheuttamien toiminnallisten ominaispiirteiden (kuten viivytykset, nopeus ja jonoprosentti) tarkkaan arviointiin ovat yleensä rajalliset. (Alexiadis ym. 1994.)

Simulointimallit ovat toiminnallisten ominaispiirteiden arvioinnissa ja osaverkon linkkien matka-aikojen estimoinnissa huomattavasti parempia kuin sijoittelumallit. Simulointimallit pystyvät myös telematiikkasovellusten vaikutusarvioissa vaadittavaan yksityiskohtaiseen kapasiteetin ja liikennemäärien esittämiseen. Simulointimalleja ei kuitenkaan yleensä ole suunniteltu alueellisen kulkutapajakauman tai reitinvalinnan ennustamiseen. (Alexiadis ym. 1994.)

Mikroskooppiset simulointimallit poikkeavat sekä makroskooppisista että mesoskooppisista malleista siinä, että ne kuvaavat paljon pienempää verkon osaa ja ne voivat vaikuttaa jokaisen kuljettajan käyttäytymiseen. Sen vuoksi ne pystyvät arvioimaan monenlaisia telematiikkaratkaisuja erittäin yksityiskohtaisesti; esimerkkejä ovat liikennetieto-ohjauksiset liikennevalot (esim. SCOOT) ja älykäs ajoneuvonhallinta. Useimmat mikroskooppiset mallit eivät kuitenkaan kykene mallintamaan reittimuutoksia. Mesoskooppiset mallit sen sijaan pystyvät viimeksimainittuun, mutta niiden tapa käsitellä ajoneuvoja ryhminä on melko keinotekoinen. Makroskooppisilla malleilla ei voi varsinaisesti mallintaa telematiikkaratkaisuja, elleivät ne vaikuta liikenteen kysyntään tai kulkutavan valintaan. Niiden vahvuudet ovat liikennemäärätiedon tuottamisessa muille mallityypeille. (Forward 1993.)

Telematiikkajärjestelmien mallinnuksessa tulee kiinnittää huomiota mm. mallien toiminnallisiin vuorovaikutuksiin, dynaamiseen sijoitteluun, mikroskooppiseen tarkasteluun, reittipohjaiseen liikenteen sijoitteluun, telematiikkaratkaisujen simuloinnin mekanismeihin, reitinmääritys- ja -ohjausmoduleiden yhteensovittamiseen, käyttäytymismalleihin ja vuorovaikutukseen, vaikutusmallien yhteensovittamiseen, järjestelmän integraatioon ja ennustemalleihin. (Underwood, Gehring 1993.)

Kaikissa liikenteen simulointimalleissa tulisi eri järjestelmiä (sovellustasoja) käyttävien matkustajien määrää voida vapaasti vaihdella. Eri järjestelmien tulisi myös voida esiintyä samanaikaisesti. Tavoitteena on pystyä simuloi-

maan integroitua liikenteen telematiikkajärjestelmää ja kuvata yhteisvaikutukset mahdollisimman todenmukaisesti. (Algers ym. 1996.)

4.2 Simuloinnin kohteita

4.2.1 Kysynnän simulointi

Nykyisissä liikenne-ennustejärjestelmissä kysynnän perustuotosyksikkö on matka. Mikrosimulointiin perustuvissa 'uuden polven' kysyntämalleissa lähdetään siitä, että liikkuminen aiheutuu erilaisista henkilön tai kotitalouden aktiviteettitarpeista, jolloin matkan teko on vain yksi mahdollisuus tyydyttää aktiviteetti. Yksilön päivittäistä liikkumiskäyttäytymistä mallinnetaan kokonaisuutena, jossa otetaan huomioon henkilön asema perheessä, tietyt esim. töissä-käynnistä aiheutuvat aikataulusidonnaisuudet, eri kulkutapojen saatavuus, yhteistyö eri perheenjäsenten kesken jne. Tarkastelutapa mahdollistaa myös liikkumista vaativan aktiviteetin korvaamisen vaihtoehdolla, joka ei tuota matkaa (kuten kotona työskentely).

Mikrosimulointiin perustuvissa malleissa kysyntää tarkastellaan stokastisena ilmiönä. Tämä merkitsee, että kaksi matkan tekijää, joilla on valittavanaan samat vaihtoehdot saattavat samassa tilanteessa toimia eri tavoin. Perusoletuksena on, että ihmiset reagoivat liikennejärjestelmässä tapahtuviin muutoksiin ja mukauttavat käytöstään niiden mukaan. Jos muutokset ovat tilapäisiä, käyttäytyminen palautuu joko osittain tai kokonaan totutunlaiseksi. On myös mahdollista, että esimerkiksi joukkoliikenteen lippujen hinnan tilapäinen lasku ei aiheutakaan muutoksia kulkutapajakaumassa, mutta kun hinnat taas nousevat "ennalleen", kokevat ihmiset muutoksen hinnan nousuna ja siirtyvät käyttämään muita kulkutapoja. Reaktio voi siis olla epäsymmetrinen niin muutoksen suuruuden kuin suunnankin suhteen. (Spear 1996.)

Paikkatietojärjestelmillä on keskeinen asema aktiviteettien tarkasteluun perustuvassa mallintamisessa. Paikkatietojärjestelmät mahdollistavat maankäytön, liikenteen, käytettävissä olevan maan, kotitalouksien sijainnin ja eri toimintojen vuorovaikutuksen tarkastelun. Maankäyttötekijöitä tarkastellaan mikrosimulointiin perustuvissa malleissa sisä- eikä ulkosyntyisinä muuttujina. Näin ollen esimerkiksi maankäytön kehittäminen, työpaikan sijainti, ja kaupallisten ja hallinnollisten palvelujen sijainti mallinnetaan eksplisiittisesti liikennejärjestelmään ja muihin päätösmalleihin vaikuttaviin tekijöihin perustuen (Spear 1996 ja Stopher 1996).

Mikrosimulointiin perustuvien liikenne-ennustemallien tavoitteena on aiempaa tehokkaammin (Ben-Akiva et al. 1996, Spear 1996 ja Stopher 1996):

- ottaa huomioon matkustusajankohdan vaikutukset, matkaketjujen teko sekä aktiviteetit, jotka eivät edellytä matkaa kodin ulkopuolella
- kuvata ihmisten mukautumista liikennejärjestelmään ajan funktiona
- tarkastella maankäytön ja liikenteen vuorovaikutusta sekä
- reagoida liikenteessä ja informaatiotekniikassa tapahtuviin muutoksiin.

Mikrosimuloinnin suurimmat ongelmat liittyvät aineistotarpeen lisääntymiseen, aggregoitujen ennusteiden tekoon, ohjelma-ajojen raskauteen sekä kysymykseen mallien alueellisesta siirrettävyydestä.

4.2.2 Tiedotusjärjestelmät (Algers ym. 1996)

Matkansuunnittelu

Matkansuunnittelun mallinnustapa perustuu siihen, että lähtöajan valinta tehdään keskimääräisiin matkustusmahdollisuuksiin perustuvalla kokemuksella. Matkansuunnittelujärjestelmän avulla oletetaan saatavan tietoa poikkeuksista normaaleihin liikenneolosuhteisiin verrattuna. Järjestelmät voivat toimia niin yksityisauto- kuin joukkoliikenteessäkin. Tulevaisuuden kysyntämallien tulisi ottaa huomioon tiedotusjärjestelmän laatu ja kustannukset matkustusajankohdan, kulkumuodon valinnan jne. yhteydessä. Käytössä voi olla yhtäaikaista useita medioita, esim. radio, RDS-TMC, tekstitelevisio ja internet-pohjaiset järjestelmät.

Järjestelmillä voi olla erilaisia vaikutuksia toteutustavasta riippuen. Jos järjestelmä on ajantasainen ja perustuu todellisiin tilanteisiin (esim. onnettomuuksiin), tarkastelu voidaan rajoittaa tapahtuman jälkeiseen aikaan. Jos järjestelmä sen sijaan tiedottaa odotettavissa olevista muutoksista (esim. tietyön aiheuttamasta kapasiteetin vähenemisestä), tarkastelua täytyy laajentaa koskemaan sekä tapahtumaa edeltävää että seuraavaa ajanjaksoa.

Joukkoliikennetiedotus

Joukkoliikennetiedotuksen mallintamista rajoittaa riittämätön tietämys todellisista käyttäytymismuutoksista. Tottuneiden ja tottumattomien matkustajien reitinvalintoja ja niiden tehokkuutta koskevaa käyttäytymistietoa ei juuri ole. Tätä tietoa tulee hankkia joukkoliikennetiedotuksen kysynnän arvioinnin lähtökohdaksi. Yhteyttä tiedotuksen laadun ja joukkoliikenteen käytön välillä täytyy voida mallintaa. Muuttuvat olosuhteet edellyttävät tuntia lyhyempien, esim. viiden minuutin ajanjaksojen, simulointia.

Ajantasainen järjestelmä lyhentää matka-aikoja ja lisää matkustusmukavuutta. Lontoossa tehdyn analyysin mukaan matkustajat ovat valmiita maksamaan 10 % korkeampia lipunhintoja luotettavasta ajantasaisesta tiedotuksesta. Tulevaisuuden malleissa tulee ottaa huomioon matkustusmukavuuden muutokset.

Pysäköintitoiminnot

Pysäköintitoimintojen mallinnus perustuu katupysäköinnin ja pysäköintilaitosten käyttömahdollisuuksista saatavaan hyötyyn sekä pysäköintipolitiikkaan, eli lähinnä maksuihin ja virhepysäköintiin kohdistuviin toimiin. Tulevaisuuden mallijärjestelmissä pysäköintipaikan hakuajan ja pysäköintikustannuksen tulisi vaikuttaa liikenteen määrään, kulkumuodon valintaan, reitinvalintaan ja hakuaikoihin. Myös katupysäköinnin ja pysäköintilaitosten välistä kilpailuasemaa tulee voida mallintaa. Hyvä malli edellyttää tietoja käyttäytyksestä, hinnoista, täyttymisnopeudesta, kävelyetäisyyksistä jne. Näitä tekijöitä tulee myös pystyä muuttamaan mallissa vapaasti. Tekijöiden tuottajana voidaan käyttää eri alueita ja sovelluksia koskevia osamalleja.

Tiedotusjärjestelmien mallintamisessa tulee ottaa huomioon seuraavat tekijät:

- tiedotusjärjestelmän laatu ja kustannukset
- ajankohdan, reitinvalinnan, kulkumuodon valinnan jne. vaihtelu
- matkojen uudelleensijoittelu sekä häiriöiden aikana että niiden jälkeen
- joukkoliikennetiedotuksen laatu (nopeus, käyttömahdollisuudet, käyttäjäystävällisyys) ja joukkoliikenteen käyttö
- katupysäköinnin ja pysäköintilaitosten käyttömahdollisuudet
- pysäköintipolitiikka, lähinnä maksut ja virhepysäköintiin kohdistuvat toimet
- pysäköintipaikan hakuajan ja pysäköintikustannusten vaikutus liikenteen määriin, kulkumuodon valintaan, reitinvalintaan ja hakuaikoihin
- katupysäköinnin ja pysäköintilaitosten välinen kilpailuasema.

4.2.3 Liikenteenohjaus

Valo-ohjaus

Liikenteen valo-ohjauksen mallintamisessa lähdetään olettamuksesta, että kehittynyt ohjausjärjestelmä vähentää viivytyksiä liittymissä paikallisesti. Arvioinnissa täytyy ottaa huomioon vaikutusten jakautuminen liikenteessä. Ohjausjärjestelmät jakautuvat pääpiirteisesti seuraavasti (Algers ym. 1996):

- riippumattomat: perinteiset liikenneohjauksiset (mm. LHOVRA) ja itseoptimoivat (SOS)
- yhteenkytketyt: perinteiset (aikaohjauksiset), liikenneohjauksiset (AUT), paikallisesti reaaliaikaohjauksiset (SPOT) ja keskitetyt reaaliaikaohjauksiset (ODIN).

Valo-ohjauksen alueellisten vaikutusten kuvaamiseksi tulisi liittymäviivytysten simuloinnissa ottaa huomioon kohdentumisvaikutukset. Se edellyttää iterointia. Viivytysten pieneneminen tekee paremmin ohjatuista väylistä houkuttelevampia, mikä lisää liikennettä. Se aiheuttaa viivytysten lisääntymistä, mikä taas vähentää liikennettä jne.

Verkkotasolla voi toisinaan olla tarvetta yksityiskohdissaan tarkkoihin simulointeihin. Näin on erityisesti silloin, kun ollaan tarkastelemassa yksittäisen pääväylän tai pääkadun ja sen lähiympäristön muodostamaa kokonaisuutta. Tällöin esimerkiksi liikennevalojen toiminta voi olla ratkaisevassa asemassa ja se on kuvattava hyvin huolellisesti. (Morin ym. 1991.)

Tulevaisuuden simulointimalleilla tulee voida kuvata valo-ohjausjärjestelmän paikallisia ja alueellisia vaikutuksia. Myös laajempien alueiden ja jopa kokonaisten kaupunkien valo-ohjausperiaatteita tulisi voida tutkia. Se voi tarkoittaa mikrosimulointimallia koko alueesta, mikro- ja makromalleja, jotka vaihtavat tietoa keskenään tai mikromalleja, joita käytetään viivytysten tuottamiseen makromalleille. (Algers ym. 1996.)

Moottoritieohjaus (Algers ym. 1996)

Moottoritieohjauksen mallinnuksen lähtöajatus on, että liikennevirran säätely ylikuormitustilanteissa vaihtuvien nopeusrajoitusten, ramppiohjauksen ja

muuttuvan viitoituksen avulla vähentää viivytyksiä moottoritiellä paikallisesti.

Todennäköisten vaikutusten kuvaamiseksi täytyy tieosuuksien ja ramppien viivytykset jakautumisvaikutuksineen simuloida. Moottoritien lisääntynyt kapasiteetti houkuttelee lisää liikennettä samalla kun ramppien lisääntyneet viivytykset vähentävät liikennemäärää. Tietyt ajoneuvot päättävät sen vuoksi ajaa moottoritielle aikaisemmin tai valita vaihtoehdoisen reitin. Myös tässä yhteydessä makro- ja mikromallien yhteistyö on tarpeen.

Raskaan liikenteen hallinta (Algers ym. 1996)

Raskaan liikenteen hallinnan mallinnuksen lähtökohta on kuorma-autojen sijoittelu verkolle, jossa on käytössä liikennevaloetuuudet. Tästä seuraa, että arvioinnissa tarkasteltavalle raskaalle liikenteelle kohdistuu erilaisia hyötyjä.

Hyvä simulointi edellyttää kuorma-autoliikenteen yksityiskohtaista sijoittelua ja liittymien erittelyä etuuksien mukaan.

Häiriönhallinta (Algers ym. 1996)

Häiriönhallinnan mallintamisessa lähtökohtana on simuloida liikenteen häiriötilannetta liikennejärjestelmän tapahtumien todenmukaisten esiintymistheyksien ja vaikutuksissa havaittavien erojen avulla. Järjestelmässä tulee siis olla mahdollisuus tuottaa satunnaisesti eri asteisia häiriöitä. Häiriöiden yhteydessä täytyisi myös pystyä muuttamaan tieosuuksien kapasiteettia.

Parempi häiriönhallinta mahdollistaa häiriöiden vaikutusten vähentämisen. Kuvaukset perustuvat oletuksiin havaintoajoista, käsittelyajoista liikenteen hallintakeskuksessa ja häiriöistä tiedottamisesta. Niitä pitäisi voida vapaasti määrittää. Tulevaisuuden malleihin tulisi siis sisältyä häiriönhavaitsemisjärjestelmän kuvaus. Niissä pitäisi voida mallintaa myös hälytykseen kuluvia aikoja ja aikoja tiedotukseen häiriön poistumisesta.

Häiriönhallinnan vaikutusten kuvaamiseksi täytyy lisäksi simuloida eri asteisten häiriöiden aiheuttamia viivytyksiä. Linkin viivytysten tulee heijastua myös muille tieosuuksille.

Alueellinen opastus (Algers ym. 1996)

Alueellisen opastusjärjestelmän mallinnus perustuu häiriintyneen liikenteen simulointiin ottaen huomioon erilaisten tilanteiden todenmukainen esiintyminen ja niihin vaikutuksiin, joita parantuneen tiedotuksen aiheuttamat reitinvalinnat synnyttävät. Häiriönhallinnan tapaan tulisi olla mahdollisuus tuottaa erilaisia tilanteita ja vaihdella niiden kestoa. Myös kapasiteettia tulisi voida muuttaa. Mallilla tulisi voida kuvata oikein jononmuodostumista ja -purkautumista häiriötilanteissa.

Liikennetiedotusjärjestelmän tehokkuus perustuu ratkaisevasti ketjun havainto-päätös-tiedotus-häiriönpoisto-häiriön poistumisilmoitus nopeudesta. Malleissa tulisi voida kuvata havaitsemis- ja raportointitodennäköisyyttä ja eri toimintoihin kuluvia aikoja vaihteluineen. Tähän tarkoitukseen tulisi voida käyttää myös dynaamista mallia, joka ottaa huomioon matkustajien halukkuuden ja kyvyn seurata tiedotusta.

Muuttuva reittiopastus

Muuttuvat reittiopastusjärjestelmät, kuten LISB ja AUTOGUIDE, pyrkivät vähentämään ajosuoritetta ja matka-aikaa silloin, kun kuljettajat eivät pysty löytämään optimireittiä määräpaikkaansa. Liikenteen tilaan, esim. häiriöistä aiheutuvaan ruuhkaan, reagoiva muuttuva järjestelmä on erityisen hyödyllinen. Muuttuva reittiopastusjärjestelmä vaikuttaa myös turvallisuuteen vähentämällä onnettomuuksille altistuvien määrää, kuljettajiin kohdistuvaa stressiä ja sujuvuuteen vähentämällä opastamattomalle liikenteelle, myös joukkoliikenteelle ja hälytysajoneuvoille, aiheutuvia ruuhkia. (Hounsell ym. 1991.)

Muuttuvasta reittiopastuksesta saadaan suurin mahdollinen hyöty optimaalilla ohjausstrategioilla. Näitä strategioita voidaan tehokkaasti arvioida ja kehittää ennen järjestelmän käyttöönottoa. Niiden avulla voidaan esimerkiksi:

- suunnitella, arvioida ja vertailla erilaisia reittiopastusstrategioita normaaleissa liikenneoloissa ja häiriöiden sattuessa.
- määrittää strategioiden vaikutukset sekä opastetuille että opastamattomille ajoneuvoille ja erilaisille opastuksen saavien osuuksille.
- arvioida ruuhkien vähentymisen vaikutukset ja liikenteen mahdollisen uudelleenjakautumisen seuraukset liikenteen hallinnalle.

Muuttuvan reittiopastuksen simuloinnin vaatimukset voivat olla seuraavia (Hounsell ym. 1991):

1. Opastettujen ja opastamattomien erityyppisten ajoneuvojen luokittelu ja (muuttuvien) sijoitteluperusteiden määrittäminen kullekin luokalle.
2. Sijoittelun suhteen riittävän suuren ja verkon sekä ohjauksen ominaispiirteiden suhteen riittävän yksityiskohtaisen verkon mallintaminen. Myös muuttuvan reittiohjauksen käsittävä harvempi verkko (esim. vain pääkadut) tulee voida ottaa huomioon.
3. Ajan mukaan muuttuvan liikenteen kysynnän ja toimivuuden realistinen mallintaminen (ruuhkat, tukkeutumisvaikutukset jne.).
4. Ohjausstrategiat välittävien reittiohjausmajakoiden toiminnan mallintaminen, mukaanluettuna tiedonkäsittelyn ja -välityksen viipeet ja ajoneuvojen palaute linkkien matka-ajoista.
5. Liikenteen vaihtelumuotojen ja erityisesti liikenteen häiriöiden ja niiden ominaispiirteiden (sijainti, vakavuus, kesto) mallintaminen.
6. Käyttäjäoptimin ja järjestelmäoptimin mukaisten ohjausstrategioiden tutkimismahdollisuus.
7. Tulosten esittäminen yksityiskohtien (reitit, linkkien liikennemäärät, viivytykset jne.) tutkimiseksi ja yhteenvetotaulukon tuottaminen arviointia varten.

Simulointi on tärkeä työkalu muuttuvien reittiohjausstrategioiden arvioinnissa. Optimistrategioiden määrittäminen edellyttää kuitenkin, että malli kuvaa tarkasti liikenteen toimintaa, muuttuvan ohjausjärjestelmän toimintaa, kuljettajien käyttäytymistä jne. Kuljettajien reitinvalintakäyttäytyminen, ohjaukseen

reagoiminen jne. ovat erityisen monimutkaisia; käyttäytymistutkimukset ja kokeiluprojektiarvioinnit täytyy välittömästi hyödyntää. (Hounsell ym. 1991.)

Liikenteenohjausjärjestelmien mallintamisessa tulee ottaa huomioon seuraavat tekijät:

- kysynnän vaihtelut viikon aikana
- erilaisten tilanteiden esiintyminen
- kapasiteettirajoitukset, jononmuodostus ja -purkautuminen häiriötilanteissa
- havainnointijärjestelmän yksityiskohtainen rakenne
- havainnoinnin ja raportoinnin todennäköisyys
- havainnointiajan vaihtelut
- päätös-, hälytys- ja tilanteen normalisoitumisaikojen vaihtelut
- valo-ohjausjärjestelmien, kuten SOS, SPOT jne., paikalliset vaikutukset
- liikennevirran erityispiirteet ja vaihtuvat nopeusrajoitukset moottoritie-ohjauksessa
- päävirran, ramppiliikenteen ja viivytysten välinen yhteys ramppiohjausjärjestelmissä
- mahdollisuus simuloida lyhyempiä ajanjaksoja (esim. viittä minuuttia)
- mahdollisuus simuloida vaihtuvasuuntaisia kaistoja
- kuorma-autoliikenteen sijoittelu
- muuttuva reitinvalintamalli, joka ottaa huomioon matkustajien halukkuuden ja kyvyn seurata viitoitustietoja
- viitoituksen rajoitukset sekä läpiajokiellot
- laatu vaihtelut järjestelmien välillä
- tarpeettoman matka-ajan osuus erilaisilla matkoilla tunnettuihin tai tuntemattomiin määräpaikkoihin
- monireittialgoritmien esiintyminen.

4.2.4 Maksujärjestelmät (Algers ym. 1996)

Tienkäyttömaksut

Tienkäyttömaksujen mallinnuksen lähtökohta on, että tullimaksut tai suoritemaksut vaikuttavat sekä kulkumuodon valintaan että reitinvalintaan. Autoilijat pyrkivät välttämään maksuja edullisemmilla reitinvalinnoilla tai siirtymällä joukkoliikenteeseen. Mallissa tulisi voida tarkastella tietyissä pisteissä perittävää maksua ja suoritemaksua, joita on mahdollisuus vaihdella ajosuunnan ja ajankohdan mukaan.

Maksuasemille voi muodostua jonoja, jos kapasiteetti on rajoitettu. Kapasiteettirajoitukset ja viivytykset vaihtelevat maksujärjestelmän toteutuksen mukaan. Mallien tulisi pystyä näiden ilmiöiden kuvaamiseen.

Muuttuvat autonkäyttömaksut

Ympäristömaksut ja muut muuttuvat autonkäyttömaksut pyrkivät ohjaamaan autonkäyttöä yhteiskunnan kannalta suositeltavammille alueille, väylille, vuorokaudenajoille jne. Mallintamisessa tulee pystyä kuvaamaan maksujen porrastaminen ja sen aiheuttamat herkkyysvaikutukset. Mallien tulee pystyä

tasapainoon pyrkivään iterointiin.

Automaattisten maksujärjestelmien mallintamisessa tulee ottaa huomioon seuraavat tekijät:

- jonojen ja viivytysten kuvaaminen maksuasemilla
- yhdessä pisteessä perittävät maksut (tullit), ajosuoritemaksut tai aikasuoritemaksut
- eri suuntien ja ajanjaksojen erittely
- eri tyyppisten tieosuuksien ja alueiden erittely
- maksutyyppien (kiinteä/muuttuva) herkkyys
- matkustajaryhmien herkkyys
- optimaalisten maksujärjestelmien määrittäminen tehokkaasti.

4.2.5 Ajoneuvonhallinta (Algers ym. 1996)

Nopeuden säätö huonolla kelillä

Huonolla kelillä tapahtuvan nopeuden säädön mallinnuksen lähtökohta on, että onnettomuusriskiä voidaan vähentää, jos alhainen kitka voidaan tunnistaa ja nopeutta alentaa kitkaa vastaavaksi. Kitkan, nopeustason ja onnettomuusriskin välisen yhteyden avulla voidaan kuvata turvallisuusvaikutuksia. Malleilla tulisi kuvata nopeus-liikennevirtariippuvuus erilaisissa sää-, keli- ja näkyvyyssoloissa.

Automaattinen nopeuden säätö

Automaattisen nopeudensäätimen mallinnus perustuu siihen, että alhaisemmat ja tasaisemmat nopeudet lisäävät liikenneturvallisuutta. Aikavälien, nopeuksien ja onnettomuusriskin välisen yhteyden sekä tie-, keli-, sää- ja valaistusolosuhteiden avulla voidaan kuvata turvallisuusvaikutuksia.

Mallijärjestelmässä tulee voida vaihdella nopeudensäätimen kanssa ja ilman sitä ajavien osuutta sekä nopeudensäätimen kanssa ajavien osuutta, kun se on suositeltava tai pakollinen eri olosuhteissa. Mallin tulisi sisältää makro- ja mikrotason yhteys aikaväleistä, väistöliikkeistä, suhteellisista nopeuksista, konflikteista tai vastaavista riippuvaan onnettomuusriskiin. Vaikutusten perustaminen käytännön kokemuksiin edellyttää niin suurta aineistoa, että mallia ei pystyne muodostamaan onnettomuusanalyysin avulla. Sen sijaan voidaan luoda asiantuntijajärjestelmä, joka käyttää hyväkseen onnettomuusanalyysijä ja -raportteja, konfliktitutkimuksia ja käyttäytymistutkimuksia.

Ajoneuvonhallintajärjestelmien mallintamisessa tulee ottaa huomioon:

- nopeus-liikennevirtariippuvuus erilaisissa sää-, keli-, näkyvyyssoloissa
- mahdollisuus simuloida nopeudenmuutosta liittymissä
- makronäkemykset turvallisuudesta nopeustason ja nopeuksien vaihtelun perusteella
- makronäkemykset turvallisuudesta erilaisissa näkyvyys-, liikenne- ja kitkaolosuhteissa
- makronäkemykset turvallisuudesta lainrikkomuksissa
- makronäkemykset turvallisuudesta ajokyvyn ollessa heikentynyt stressin, väsymyksen, alkoholin ja huumeiden vaikutuksen seurauksena
- mikronäkemykset turvallisuudesta asiantuntijajärjestelmän perusteella,

kun onnettomuusriski riippuu aikaväleistä, väistöliikkeiden määrästä, suhteellisista nopeuksista, konflikteista tai vastaavista

- mikronäkemyksistä turvallisuudesta aikavälien, suojatien ylitysnopeuden ja jalankulkijoiden riskin perusteella
- erilaisten liikennetilanteiden esiintyminen eri tieluokissa ilmaston ja talvikunnossapidon perusteella
- näkyvyysmuutokset ja ultraviolettivalon kontrastivaikutus
- ajoneuvojen erilaiset ominaisuudet (nopeuden säätö) varustuksesta riippuen
- mahdollisuus vaihdella nopeudensäätimen kanssa ja ilman sitä ajavien osuutta
- mahdollisuus vaihdella nopeudensäätimen kanssa ajavien osuutta, kun se on suositeltava tai pakollinen eri olosuhteissa
- mahdollisuus simuloida tietoliikennettä ajoneuvojen ja järjestelmän välillä.

Taulukossa 3 on esitetty liikenteen telematiikkasovellusten vaikutusten arviointiin käytettäville simulointimalleille suositeltavia ominaisuuksia.

Taulukko 3. Liikenteen telematiikkasovellusten vaikutusten arvioinnissa käytettävien simulointimallien ominaisuuksia.

	Mallin aikakäsite		Liikennevirran käsittelytapa			Tarkastelu- mittakaava	
	Jatkuva- aikasimu- lointi	Diskreetti- aikasimu- lointi	Makro- skooppi- nen	Mikro- skooppi- nen	Mesos- skooppi- nen	Yksittäinen tiejakso/ liittymä	Laaja / laajahko verkko
KYSYNNÄN SIMULOINTI	X	X	X	X	X		X
TIEDOTUSJÄRJESTELMÄT							
- matkansuunnittelu		X	X	X	X		X
- joukkoliikenneinformaatio		X		X	X		X
- pysäköintitoiminnot		X		X		X	X
LIIKENTEEN OHJAUS							
- valo-ohjaus		X		X	X	X	X
- moottoritieohjaus		X		X	X	X	X
- raskaan liikenteen hallinta		X		X	X		X
- häiriönhallinta		X		X	X		X
- alueellinen opastus		X	X	X	X		X
- muuttuva reittiopastus		X	X	X	X		X
MAKSUJÄRJESTELMÄT							
- tienkäyttömaksut		X		X		X	X
- muuttuvat autonkäyttömaksut		X	X	X	X		X
AJONEUVONHALLINTA							
- nopeuden säätö huonolla kelillä		X		X		X	X
- automaattinen nopeuden säätö		X		X		X	X

Kuten taulukosta voidaan huomata, telematiikan vaikutusten tutkimisessa kannattaa käyttää diskreettiaikasimulointia käyttävää ohjelmistoa. Telematiikkaratkaisujen simuloinnissa suositetaan mikroskooppisia malleja, koska ne pystyvät kuvaamaan sovellusten vaikutuksia yksilötasolla. Sovellusten alueellinen laajuus ja liikenneympäristö vaikuttavat viime kädessä siihen, millaista simulointimallia vaikutusten arvioinnissa voidaan käyttää.

4.3 Telematiikan vaikutusten arvioimiseksi tehdyt simulointiko- keet (Noukka 1995)

Telematiikan vaikutusten arvioimiseksi on tehty mm. seuraavia simulointitutkimuksia:

- *Informaatiotoimenpiteiden vaikutukset matka-aikaan, liikenneturvallisuuteen, päästöihin ja liikennekustannuksiin; TOSCA Ruotsissa vuonna 1992*

Ruotsin liikenneministeriö arvioi osittain TOSCA-tutkimukseen perustuen, että telematiikan avulla voidaan saavuttaa liikennepoliittisia tavoitteita halvemmalla kuin vaihtoehtoisilla keinoilla. Koska telematiikka ei kuitenkaan merkittävästi alenna liikenteen suoria kustannuksia, on kyseenalaista, voidaanko telematiikkaa levittää puhtaasti markkinaperusteilla.

Yhdyskuntataloudellisen vertailun avulla lupaavimpia sovelluksia ovat reittiopastus, tienkäyttömaksut, paikalliset varoitukset ja informaatio, joukkoliikennetieto, liittymien ohjaus sekä ajoneuvon ja vihreän aallon yhteen sovittaminen.

- *Kokonaiskuva tieliikenteen telematiikan yhteiskuntataloudellisista vaikutuksista, arviointi vaikutuksista liikenteen tehokkuuteen, turvallisuuteen, ympäristöön ja talouteen; TOSCA II Ruotsissa vuosina 1993 - 1995*

Matka-aikalaskemien mukaan telematiikan keinoilla voidaan vähentää ruuhkia yhtä paljon kuin tienrakentamisella. Liikenneturvallisuus ja ympäristövaikutuksista on epävarmuutta. Niihin vaikuttaa esimerkiksi se, tuleeko järjestelmistä pakollisia tai puututaanko konfliktitilanteisiin automaattisesti.

- *Ennen matkaa saadun informaation vaikutus matkustuskäyttäytymiseen; DRIVE I/ EURONETT Englannissa ja Kreikassa, Polak & Jones 1992*

Tutkimuksessa simuloitiin käyttäjän kotona sijaitsevaan mikrotietokoneeseen perustuvaa, autolla ja bussilla matka-ajat keskustaan tarjoavaa informaatiojärjestelmää. Tutkimuksen mukaan säännöllisesti liikkuvat tarvitsevat informaatiota ennen matkaa. Nykyisten järjestelmien puutteena on, että ne tarjoavat useimmiten vain yhteen kulkutapaan liittyvää tietoa.

Tutkittu järjestelmä oli tehty simulointitarkoituksiin ja sen tarjoama tieto oli yksinkertaistettua. Informaation laatua ja ymmärrettävyyttä on varaa parantaa: tutkimuksessa oletettiin, että tarjottu tieto oli täsmälleen oikeata, eikä järjestelmä ottanut huomioon liikenteen häiriötilanteita, bussien rikkoutumisia tai muita odottamattomia tapahtumia.

- *Informaation vaikutus reitinvalintaan ruuhkautuneessa liikennejärjestelmässä; Mahmassani & Chen 1993*

Tutkimuksessa tietty osa kuljettajista (10, 25, 50, 75 tai 100 %) sai ajantasaista tietoa matka-ajoista verkon eri linkeillä. Informaation vaikutuksia tutkittiin vertaamalla informaation antamisen jälkeen mitattua matka-aikaa aikaan, jonka kuljettaja olisi käyttänyt ilman informaatiota.

Mitä suurempi oli tietoa saavien kuljettajien osuus, sitä pienempiä hyötyjä saavutettiin. Käytännössä tilanne poikkeaisi tässä tutkimuksessa simuloidusta kuitenkin siinä suhteessa, että verkkoa tuntevat kuljettajat eivät todennäköisesti noudattaisi huonoina pitämiään ohjeita. Johtopäätöksinä esitetään, että tietoa tulee tarjota koordinoitusti (esimerkiksi liikenteen hallintakeskuksesta, joka seuraa koko ajan tilannetta) ainakin, jos arviolta 25 % ylittävä osuus kuljettajista saa tietoa.

- *Informaation vaikutukset toistuvasti ruuhkautuvalla tieverkolla; Emerink 1994*

Tutkimuksessa simuloitiin ennen matkaa saadun tiedotusvälineiden avulla saadun liikenteen historiatiedon ja ajantasaisen matkan aikana saadun tiedon vaikutusta matka-aikaan.

Informaatiota saavat kuljettajat hyötyvät historiatiedosta niin kauan, kun informaatiota saavien kuljettajien osuus on alle 20 %. Tiedosta on eniten hyötyä silloin, kun verkko ei ole kovin ruuhkautunut.

Informaatiota saavat kuljettajat hyötyvät merkittävästi ajantasaisesta matkan aikana saadusta tiedosta 75 % markkinaosuudelle asti, kun verkko on erittäin ruuhkautunut. Tiedon tarjoaminen kaikille kuljettajille tarjoaa hyötyjä silloin, kun ruuhka on kohtalainen. Ajantasainen ja täsmällinen tieto ei näytä johtavan merkittävään ylireagointiin korkeillakaan markkinaosuuksilla, kun taas huonolaatuinen, epätarkka tieto aiheuttaa ylireagointia, vaikka vain suhteellisen pieni osa kuljettajista saa tietoa.

- *Ajoneuvolaitteisiin perustuvan liikenneinformaation hyödyt liikenteen häiriötilanteissa; PATHFINDER USAssa, Al-Deek & Kanafani 1989, Hall 1992*

Tutkimuksissa simuloitiin informaation vaikutusta moottoritiekorridorissa todellisissa ja häiriötilanteissa. Ohjatun liikenteen aikasäästöt todettiin pieniksi silloin, kun kyse oli tavanomaisesta toistuvasta ruuhkasta. Sen sijaan häiriötilanteissa saavutettiin jopa 25 %:n matka-ajan säästöjä. Reittiopastuksen suurimmat hyödyt saavutetaan ruuhka-ajan ulkopuolella, koska tarjolla on todennäköisesti ruuhkautumattomia vaihtoehtoisia reittejä. Ruuhka-aikaan liikennetietoa tarvitaan jo ennen matkaa, jotta voidaan vaikuttaa myös matkojen ajankohtiin ja kulkutapaan.

- *Informaatio yleisötapahtumista johtuvan ruuhkan hallinnassa; DYNASmart, Jayakrishnan ym. 1993*

Tutkimuksessa simuloitiin ajoneuvon sisälle tarjotun tiedon vaikutus-

ta yleisötapahäiriön aiheuttamaan ruuhkaan. Tietoa saavien kuljettajien osuuden lisääminen kasvatti aina hyötyjä.

- *Reittiopastuksen ja RDS-TMC:n hyödyt; TRB Seattlessa vuonna 1991*

Tutkimuksen mukaan reittiopastus- ja RDS-TMC-radioinformaatiojärjestelmien hyödyt muodostuvat lähinnä liikenteen häiriötilanteiden aiheuttamien viipeiden vähenemisestä, kun autoilijat ohjataan vaihtoehtoisille reiteille. Yksittäiselle järjestelmän hankkivalle autoilijalle edut ovat suurimmillaan silloin, kun varustettujen ajoneuvojen osuus on vielä pieni.

- *Reittiopastuksen hyödyt; Van Aerde & Yagar INTEGRATIONilla Ontariossa vuonna 1990*

Tutkimuksessa simuloitiin moottoritiekorridoria. Reittiopastuksen ja liikennevalo-ohjauksen yhdistämisen todettiin tuottavan suuremman hyödyn kuin toimenpiteet yksinään. Hyödyistä saavutetaan normaali-tilanteessa suurin osa jo silloin, kun noin 20 % ajoneuvoista saa ajantasaista reittiopastusta. Häiriötilanteessa opastettujen ajoneuvojen osuuden tulee olla selvästi suurempi. Kun osa kuljettajista opastetaan systeemioptimin mukaan, saadaan varsin huomattavia hyötyjä jo pienillä systeemioptimin mukaan liikkuvien ajoneuvojen osuuksilla.

- *Ramppiohjauksen, liikennevalojen optimoinnin ja reittiopastuksen yhdistäminen; Gardes et al INTEGRATIONILLA Los Angelesissa vuonna 1993*

Tutkimuksen mukaan reittiopastus lyhentää matka-aikoja merkittävästi tavanomaisessa, toistuvassa ruuhkassa. Häiriötilanteissa hyödyt ovat kuitenkin suurempia. Lisäsäästöjä saadaan yhdistämällä reittiopastus ja liikennevalojen optimointi.

5 SIMULOINTIOHJELMISTOJEN ESITTELY

5.1 Yleistä

Tässä luvussa on esitelty simulointiohjelmistoja, joita voidaan käyttää liikenteen telematiikan vaikutusten tutkimiseen. Ohjelmien yhdenmuotoiset ominaisuustiedot ovat liitteessä 1.

5.2 Kysynnän simulointimallit

SAMS

RDC:n (Resource Decision Consultants) kehittämä SAMS-mallijärjestelmä (Sequenced Activity-Mobility System) koostuu viidestä päämodulista (*kuva 2*), joiden avulla liikennettä simuloidaan yksilöllisellä tasolla (Spear 1996 ja Kitamura ym. 1996).

1. Aktiviteettimalli (Activity-Mobility Simulator)

Aktiviteettimoduli (AMOS) on mallijärjestelmän keskeisin osa. Se koostuu aktiviteettimallista, joka tuottaa yksilön päivittäiset matkat ja matkaketjut, lähtöajat, kulkutavan ja määräpaikan valinnan, alustavan reittisuunnitelman ja mahdolliset matkakumppanit. Malli tarvitsee lähtötietoina mahdolliset aktiviteettivaihtoehdot, kotitalouden ja kulkutavan valintaan liittyvät rajoitukset ja päätösparametrit muista ohjelmamoduleista.

2. Dynaaminen verkkomalli (Dynamic Network Simulator)

Matkat syötetään liikenneverkolle dynaamisen verkkosimulaattorin avulla. Malli käyttää lähtötietoina lähtöaikoja, linkkien tilannenopeuksia ja sen hetkistä kuormitusilannetta. Lisäksi simulaattori tarvitsee päästömalleja varten ajoneuvonopeudet ja ajosuoritteet sekä aktiviteettimallia varten liikenteen suoritetta kuvaavia mittareita. Liikenteen sijoittelu tehdään liikenteen ajalliset vaihtelut huomioon ottavilla dynaamisilla sijoittelualgoritmeilla. Matkat syötetään yksi kerrallaan verkkoon lähtöajan ja -paikan funktiona, ja ne poistetaan verkosta, kun ne ovat saavuttaneet määränpäänsä. Kunkin matkan sijainti verkolla lasketaan aikavälien avulla matkan aiempaan sijaintiin, käytössä olevaan reittiin ja nopeuteen perustuen.

3. Autonomistusmalli (Vehicle Transactions Simulator)

Autonomistusmallilla simuloidaan kotitalouden käytettävissä olevien ajoneuvojen tyyppiä ja lukumäärää. Malli sisältää päätökset auton ostosta, siitä luopumisesta tai esimerkiksi auton vaihtamisesta uuteen. Malli ottaa kantaa myös valittavan ajoneuvon tyyppiin. Malli tarvitsee lähtötietoina kotitalouden rakennetietoja, liikenneverkko-tietoja, maankäyttötietoja sekä vallitsevan hintapolitiikan.

4. Sosiodemograafinen malli (Socio-Demographic Simulator)

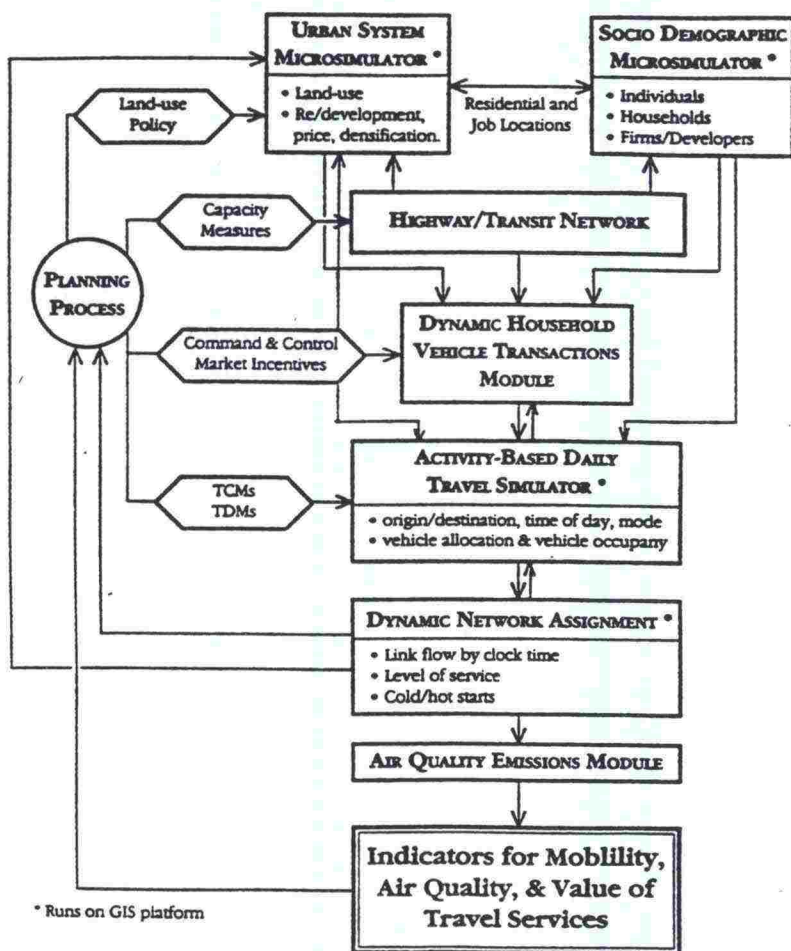
Sosiodemografisen mallin avulla simuloidaan kotitalouksien ja yritys-

ten kehitystä yleisten demograafisten ja taloudellisten kehitystrendien, paikallisen maankäyttöpolitiikan ja liikennejärjestelmän funktiona. Moduli tuottaa useita parametreja ja rajoitusehtoja AMOS, VTS ja USS moduleihin.

5. Maankäytön ja kaupunkirakenteen mallit (Urban Systems Simulator)

Maankäyttömalli simuloi kaupunkirakenteen kehitystä käsittäen maankäytön sekä teollisuuden, kaupan ja hallinnollisten palvelujen hinnoittelun mallit. Tavoitteena on perinteisen liikenteen ennustamisen lisäksi mallintaa myös maankäytön ja liikenteen vuorovaikutusta simuloimalla asuin- ja työpaikkojen sijaintipäätöksiä yksilöllisellä tasolla. Moduli tuottaa parametreja SEDS ja VTS moduleihin.

Mallijärjestelmä vaatii toimiakseen runsaasti aineistoa. RDC:n suositus on, että kotitalouden aktiviteettipäiväkirja kerätään kaikilta perheenjäseniltä seitsemän päivän ajalta. Sen lisäksi tarvitaan jatkuvia haastatteluja, joiden avulla voidaan kerätä tietoa kotitalouksien rakennemuutoksista. Taannehtivia kysymyksiä käyttämällä tietoa voidaan kerätä myös aiemmilta vuosilta. Lisäksi tarvitaan stated preference -aineistoa ihmisten käyttäytymismuutosten selvittämiseksi. SP-aineistoa voidaan myös käyttää sellaisten liikennejärjestelmässä olevien kulkutapojen tarkasteluun, joita ei vielä ole olemassa.



Kuva 2. SAMS-mallijärjestelmän periaatekuva (Spear 1996).

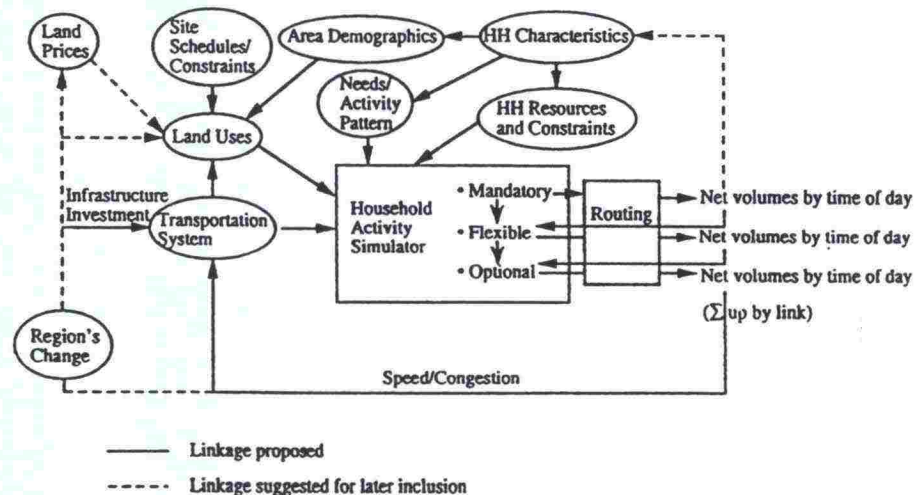
SMART

SMART-mallijärjestelmä (Simulation Model for Activities, Resources and Travel) on LTRC:n (Louisiana Transportation Research Center) ehdotus uudeksi mallijärjestelmäksi jo pitkään käytetyn UTPS-järjestelmän (Urban Transportation Planning System) tilalle. Järjestelmän keskeisin osa on GIS-ympäristössä toimiva kotitalouksien aktiviteettisimulointimalli, jolla kuvataan erilaisten aktiviteettien suorittamisen tarvetta ja mahdollisuutta. (Spear 1996 ja Stopher ym. 1996.)

Aktiviteettimalli jakaa kotitalouden toiminnot aikatauluun sidottuihin ja joustavasti suoritettavissa oleviin välttämättömiin toimintoihin sekä vapaaehtoihin toimintoihin. Välttämättömiä toimintoja ovat mm. työssäkäynti ja nukkuminen. Periaatteessa myös ostosten teko on välttämätöntä, mutta niiden suoritusajankohta ja paikka voidaan valita vapaasti. Vaihtoehtoiset aktiviteetit käsittävät usein vapaa-aikaan ja virkistykseen liittyviä toimintoja. Monet vapaaehtoisista aktiviteeteista voidaan tehdä sekä kotona että kodin ulkopuolella.

Aktiviteettimallin lisäksi keskeisiä mallijärjestelmän osia ovat maankäyttömalli ja liikenneverkon kuvaus. Maankäyttömalli koostuu kolmesta osasta. Aktiviteettirekisteri sisältää tiedot eri maankäyttömuodoille varatuista alueista (työpaikat, puistot, palvelut) sekä niihin sijoittuvien toimintojen ajoituksista. Maankäyttöreisteri sisältää alueittaiset väestötiedot. Kolmannessa rekisterissä on tallennettuna maan hinnat. Liikennejärjestelmän kuvaus sitoo maankäytön ja aktiviteetit toisiinsa.

SMART mallijärjestelmää on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3. SMART-mallijärjestelmän periaatekuva (Spear 1996).

Saksassa vuonna 1992 laadittu kysyntämalli

Saksassa on vuonna 1992 kehitetty mikrosimulointiin perustuva mallijärjestelmä, jonka tavoitteena on kysynnän mallintaminen pääosin jo olemassaolevan aineiston avulla. Mallijärjestelmää on testattu tuottamalla alueittaista tietoa vuoden 1987 väestötilastoista ja linkittämällä se vuoden 1989 tilastoista saataviin yksilöllisiin tietoihin, jotka perustuvat jatkuviin henkilöliikennetutkimuksiin. Käytetyn mallijärjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 4. (Zumkeller 1993.)

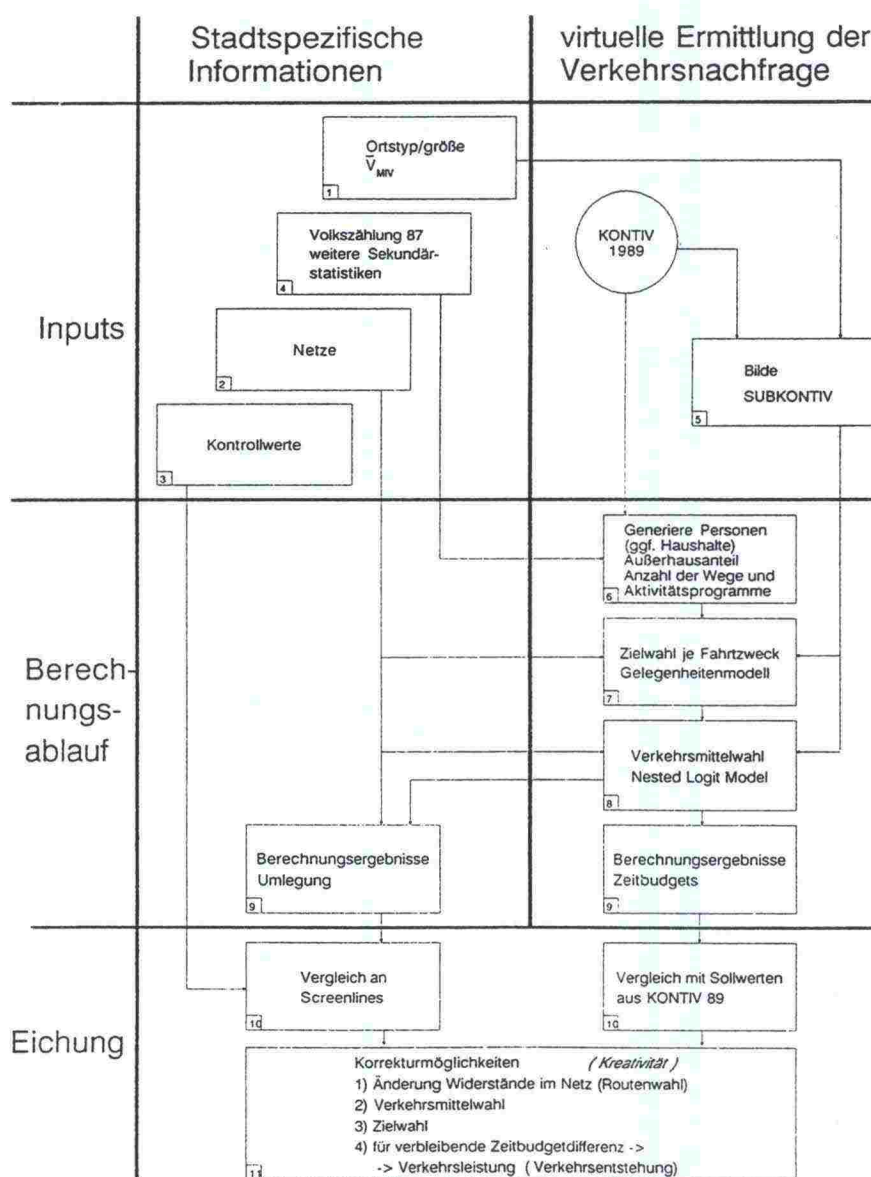
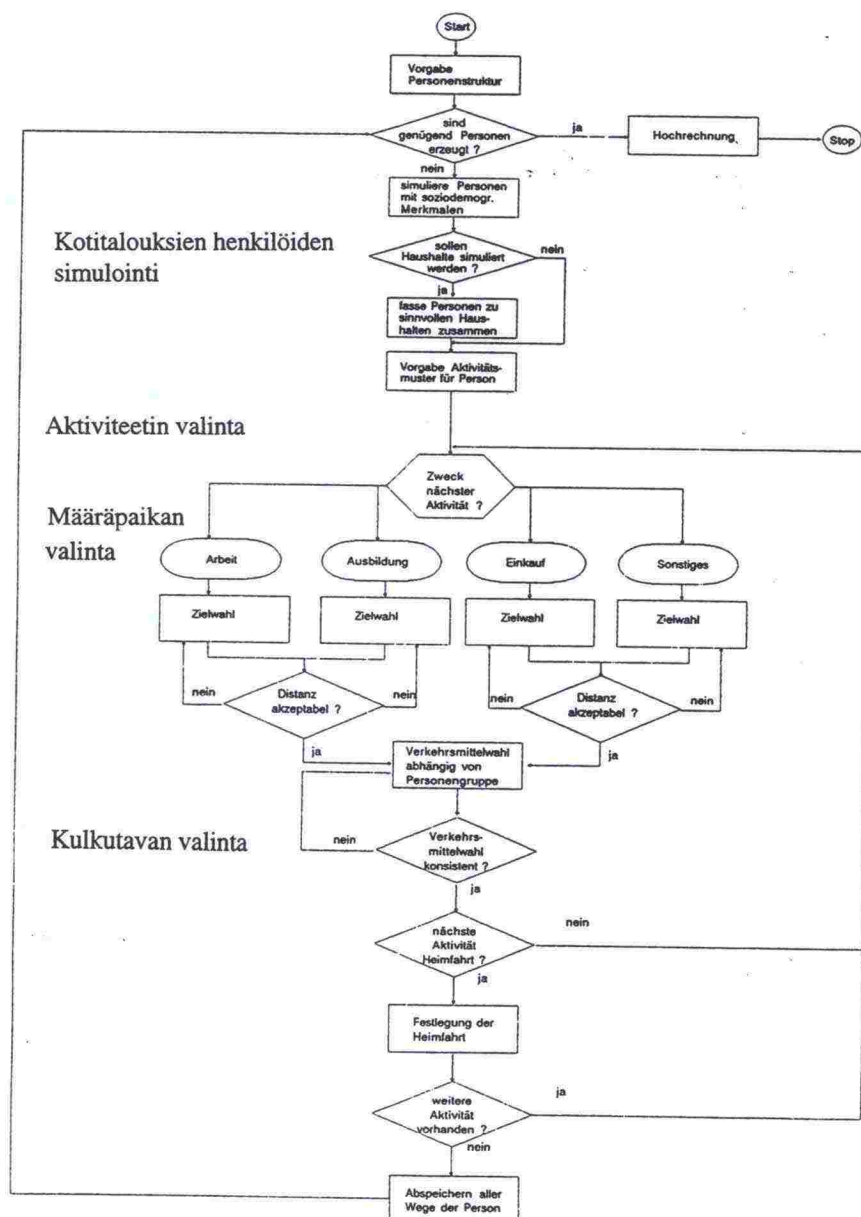


Abb. 4.3.2 Ablauf des virtuellen Berechnungsverfahrens

Kuva 4. Saksassa kehitetyn aktiviteettimallijärjestelmän periaatekuva (Zumkeller 1993).

Järjestelmän keskeinen osa on simulointialgoritmi (kohdat 6,7,8 ja 9), jonka periaate on esitetty kuvassa 5. Ohjelman suoritus etenee siten, että ohjelma lukee ensin annetut väestö- ja maankäyttötiedot, minkä jälkeen se muodostaa iän, työssäkäynnin ja autonomistuksen suhteen homogeenisille väestöryhmille aktiviteettimallin. Matkojen tekoa mallinnetaan yhden päivän aikana tehtävinä matkaketjuina, jotka muodostuvat asunnon, työpaikan, ostospaikkojen ja vapaa-ajanviettopaikkojen välisistä matkoista. Erilaisia matkaketjuja on kussakin väestöryhmässä 10 kappaletta. Tämän jälkeen kullekin matkaketjulle simuloidaan valittu määräpaikka. Lopuksi perinteistä neliporrasmallia sovelletaan kulkutavan valintamallilla ja liikenne sijoitellaan verkolle.

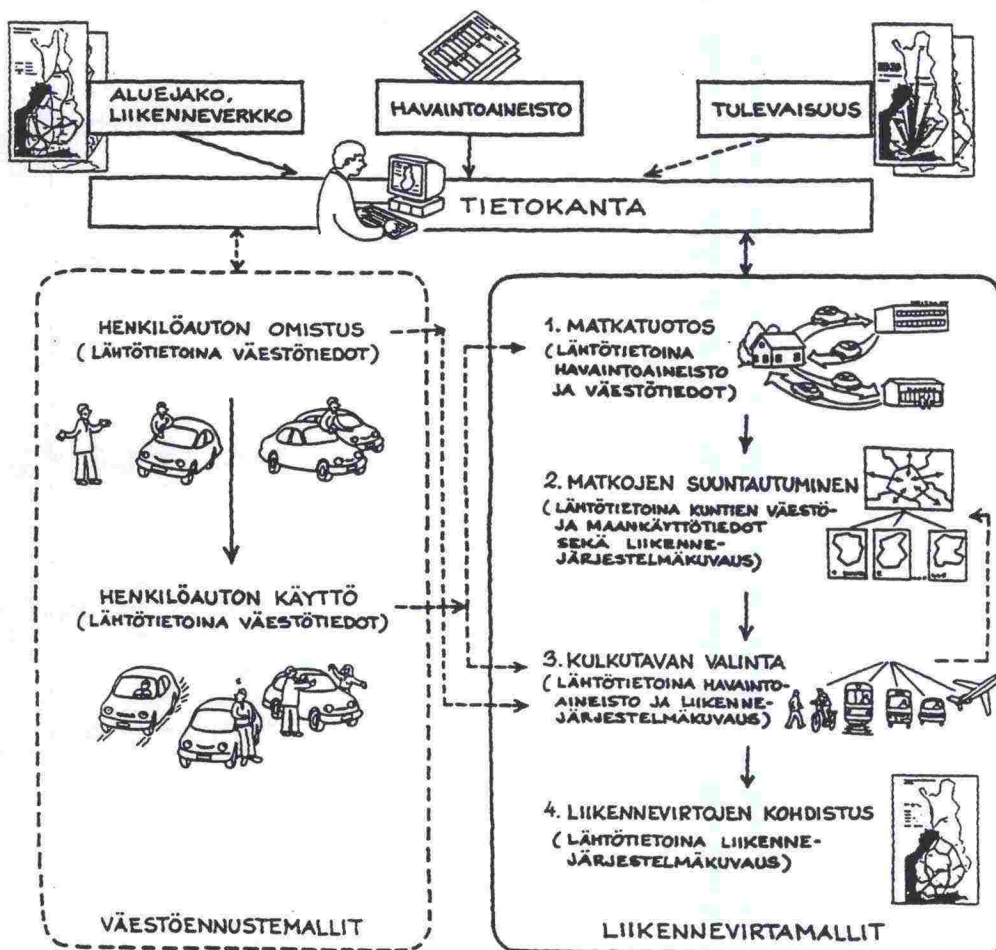


Kuva 5. Saksassa kehitetyin simulointialgoritmin periaatekuva (Zumkeller 1993).

HELVI-mallit

Suomessa mikrosimulointia on hyödynnetty valtakunnallisia henkilöliikennevirtamalleja (HELVI) laadittaessa. Mallit on kehitetty vuoden 1992 henkilöliikennetutkimuksen pohjalta (Liikenneministeriö, 1996).

Liikennemallien tarkasteluysikkönä ovat kuntien väliset ja niiden sisäiset matkat kulkutavoittain. Kulkutapavaihtoehtoja ovat henkilöauto (kuljettaja ja matkustaja), linja-auto, juna, lentokone ja kevytliikenne (polkupyörä ja kävely). Mallit soveltuvat matkojen kokonaisvolyymiin, suuntautumisen ja kulkutapajakauman ennustamiseen. Valtakunnallisella tasolla niitä voidaan käyttää liikennejärjestelmän kehitystarpeiden arvioinnissa sekä itse liikennejärjestelmän, liikenneverkkojen ja toimenpiteiden suunnittelussa. Sen sijaan malleja ei ole tarkoitettu yksittäisten kuntien tai seudullisten liikenne-ennusteiden laadintaan. Mallijärjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. HELVI-mallijärjestelmän rakenne (Liikenneministeriö 1996).

Ennusteohjelmisto koostuu neljästä osuudesta, jotka suoritetaan peräkkäin:

- | | | |
|----------|---|--|
| Vaihe 1: | Matkatuotos | <p><u>Matkatuotosmallien</u> merkitys ennustejärjestelmässä on arvioida matkojen kokonaismäärän muutos väestön määrän ja väestörakenteen muuttuessa. Matkatuotosmallissa havaintoaineisto monistetaan kunnan väestötietoja vastaavaksi ja lasketaan kuntalaisten matkatuotos matkaryhmittäin. Tarkasteltavat matkaryhmät ovat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • työmatkat • työasiamatkat • opiskelumatkat • ostos- ja asiointimatkat, sekä matkat päivähoitopaikkoihin • mökkimatkat • muut vapaa-ajan matkat • lenkit • nollamatkat. |
| Vaihe 2: | Suuntautumistodennäköisyyksien laskenta | <p>Matkojen <u>suuntautumismallit</u> kuvaavat liikennevirtojen suuntautumista lähtöpaikkakunnalta vaihtoehtoihin määräpaikkoihin. Määräpaikkavaihtoehtoina ovat muut kunnat ja lähtöpaikkakunnan etäisyysvyöhykkeet, joiden avulla pyritään arvioimaan kuntien sisäistä liikennettä. Tuloksena saadaan kunkin määräpaikan valintatodennäköisyys lähtöpaikkakunnan mukaan. Suuntautumistodennäköisyyksien kertymäfunktiot tallennetaan tietokantaan liikennevirtaohjelmaa varten.</p> |
| Vaihe 3: | Liikennevirtojen simulointi
Kuluttavan valinta | <p><u>Liikennevirtaohjelmalla</u> simuloidaan kullekin havaintoaineiston yksilölle vaihtoehtoisia määräpaikkoja vaiheessa 2 saatujen todennäköisyysjakaumien mukaisesti. Kuluttavan valintamallit ovat logittimalleja ja valintatodennäköisyyttä kuvataan hyötyfunktioilla. Hyötyfunktiot määritetään erikseen erityyppisille matkaketjuille. Lopputuloksena saadaan kuntien väliset liikennevirrat kuluttavoin. Ohjelman ajaminen vaatii, että väestöryhmien laajennuskerroimet on laskettu matkatuotosohjelmalla ja liikennevirtojen suuntautumistodennäköisyydet suuntautumisohjelmalla.</p> |
| Vaihe 4: | Liikennevirtojen sijoittelu | <p>Kuntien väliset kuluttapakohtaiset liikennevirrat sijoitellaan liikenneverkoille.</p> |

Liikennevirtamallit tuottavat lopputuloksena kuntien väliset liikennevirrat eri kulkutavoilla.

Liikennevirtaohjelmisto käyttää matkatuotosten, matkojen suuntautumisen ja kulkutavan valinnan laskennassa hyväkseen Monte Carlo -simulointia.

Simuloinnissa kukin havaintoaineistossa esiintyvä yksilö siirretään tarkasteltavaan kuntaan. Tämän jälkeen kullekin yksilölle simuloidaan määräpaikka (ks. kertymäfunktio). Simulointi ottaa huomioon kunkin määräpaikan houkuttelevuuden ja tavoitettavuuden. Tämän jälkeen yksilön ominaisuudet huomioon ottaen lasketaan kulkutavan valintatodennäköisyydet lähtöpaikan ja määräpaikan välille. Yksilön matkat ja käytetyt kulkutavat päivitetään tietokantaan. Kullekin yksilölle on laskettu kuntakohtainen laajennuskerroin, jotta havaintoaineisto vastaa kunnan väestörakennetta. Tämä otetaan huomioon päivitettäessä matkoja tietokantaan.

Suuntautumismalleilla lasketaan määräpaikan valintatodennäköisyydet. Todennäköisyydet talletetaan simulointia varten kertymäfunktioina, jolloin simuloinnissa arvottava satunnaisluku nollan ja yhden väliltä voidaan suoraan muuntaa valittavaksi määräpaikaksi. Kertymäfunktioiden taustalla olevat suuntautumismallit on estimoitu vuoden 1992 henkilöliikennetutkimusaineistosta ja ne ottavat huomioon kunkin määräpaikan ominaisuudet (etäisyyden lähtöpaikasta, työpaikat, asukkaat jne.).

TRANPLAN (Smith 1996)

TRANPLAN-ohjelmisto on dynaamisen suunnittelun työkalu laajan alueen liikennejärjestelmien tehokkaaseen analysointiin. TRANPLANin toiminnoilla suunnittelijat voivat kuvata tieverkon, muodostaa matkamatriiseja ja kulkutapajakaumia ja sijoitella liikennettä laajalle verkolle. Ohjelmisto tuottaa raportteja ja analyysikuvia. Interaktiivinen Network Information System -ohjelmisto toimii TRANPLANin graafisena käyttöliittymänä. Tämä yhdistelmä tarjoaa liikennesuunnittelijalle käyttäjäystävällisen kehitystuotteen, jolla voi päivittää, analysoida ja ennustaa muutoksia. Tiet esitetään linkkeinä, joihin liitetään väylän laatua ja tyyppiä kuvaavia ominaisuustietoja. Jokaiselle linkille koodataan kaistamäärä, nopeusrajoitus, pituus, ajonopeus, kapasiteetti ja ajoratatyyppi. Ohjelmisto vertailee eri linkkien ominaisuuksia liikenteenvälityskyvyn arvioimiseksi. Järjestelmätasolla vertailu erottelee tiet jakamalla ne luokkiin.

TRANSIMS

Perinteiset liikennesimulaattorit, kuten NETSIM, käyttävät stokastisia tai satunnaisvaihteluun perustuvia ohjelmointitekniikoita liikenteen simuloimiseen. Tällaiset järjestelmät ovat rajoittuneita, koska ne eivät salli tiettyjen liikenneympäristön toisistaan riippumattomien muuttujien integraatiota. TRANSIMS (TRansportation ANalysis SIMulation System) saattaa olla ensimmäinen liikenteen simulointiohjelmisto, joka käyttää sumeaa logiikkaa.

TRANSIMS on osa laajaa Yhdysvaltain liikennemallien kehittämisohjelmaa, jota tukevat U.S. Department of Transportation, the Environmental Protection Agency ja the Department of Energy. Los Alamos National Laboratory johtaa tätä isoa hanketta yhdistetyn liikenteen ja ilman laadun ennustamisjärjestelmän kehittämiseksi.

TRANSIMS on joukko integroitua analyysi- ja simulointimalleja ja niitä tukevia tietokantoja. TRANSIMS-menetelmät lähtevät yksilöiden käyttäytymisestä ja etenevät useiden vaiheiden kautta matkustamisen estimointiin. Alueellinen mikrosimulointi suorittaa määritetyt matkat liikenneverkossa, mallintamalla yksittäisten ajoneuvojen vuorovaikutusta ja liikennejärjestelmän toimintaa. TRANSIMSin odotetaan valmistuvan vuonna 1999.

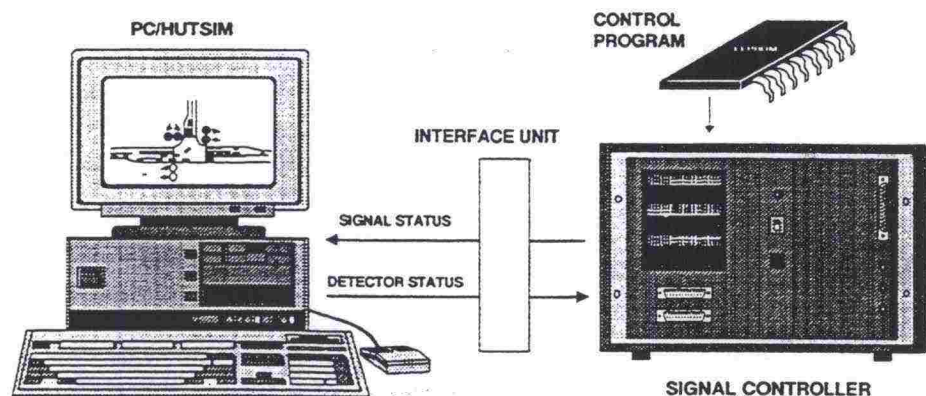
5.3 Liikenteen mikroskooppiset simulointiohjelmat

HUTSIM (Kosonen, Pursula 1996)

HUTSIM on Teknillisen korkeakoulun liikennelaboratoriossa kehitetty mikrosimulaattori, joka on tarkoitettu ensisijaisesti valo-ohjauksisten tasoliittymien toiminnan tutkimiseen.

HUTSIM-ohjelman simulointimalli on olio-suuntautunut, eli se koostuu useista eri tyyppisistä elementeistä (objects), joita yhteen liittämällä käyttäjä voi tietokoneen kuvaruudulla rakentaa mallin simuloitavasta liittymästä. Olio-mallissa kuvataan liittymän (tai usean liittymän yhdistelmän) yksityiskohtainen rakenne, saapuvan liikenteen koostumus, valo-opasteiden ja ajoneuvoilmaisimien paikat, sekä suojatiet ja väistämisvelvollisuudet.

Simuloinnin aikana päivitetään toistuvasti jokaisen ajoneuvon liiketilaa ja vuorovaikutusta suhteessa muihin ajoneuvoihin ja liikenneympäristöön. Kuvaruudulta voidaan seurata reaaliaikaisesti animaationa ajoneuvojen liikkumista ja siten paikallistaa mahdollisia ongelmakohtia. Simuloinnin tuloksena saadaan raportti, joka sisältää liittymän toimivuutta kuvaavia tunnuslukuja, kuten keskimääräiset viivytykset, jonopituudet ja pysähtyneiden autojen osuudet. Jokaisen ajoneuvon yksityiskohtainen ajokäyttäytyminen voidaan tallentaa myöhemmää analyysiä varten (mm. pakokaasulaskelmat ja polttoaineen kulutuslaskelmat).



Kuva 7. Tyypillinen HUTSIM-simulointilaitteisto.

Keskeinen periaate HUTSIM-ohjelmistossa on, että simuloimalla tuotetaan ennen kaikkea liikenne ja ympäristö, mutta varsinainen liikennevalojen ohjaus tapahtuu erillisellä liikennevalojen ohjauskojeella (*kuva 7*). Tämä edellyttää, että simulointitietokone on yhdistetty valo-ohjauskojeeseen siten, että simuloinnissa tuotetut ajoneuvojen ilmaisut voidaan siirtää ohjauskojeen ilmaisinkanaviin ja että ohjauskojeen valosignaalit voidaan siirtää takaisin simulointimalliin.

Todellisen ohjauskojeen käyttö simulointisysteemin osana tarjoaa monia etuja. Nykyaikaisten ohjauskojeiden sisältämiä lukuisia erilaisia toimintavaihtoehtoja voidaan testata ja verrata toisiinsa ja valita kulloiseenkin tilanteeseen sopivin vaihtoehto. Tällä tavoin voidaan hakea sopivimmat ohjausstrategiat, ajoitusparametrit ja ilmaisinjärjestelyt. Ilman simulointia valo-ohjauksen suunnittelija yleensä joutuu arvioimaan eri vaihtoehtoja vain omaan kokemukseensa nojaten, ilman toimivuutta kuvaavia tunnuslukuja päätöksen pohjaksi.

Varsinaisen valo-ohjaussuunnittelun lisäksi HUTSIMia voidaan käyttää yleisluontoisempaan liikennejärjestelmän tarkasteluun. Tällöin yleensä rakennetaan yhtä liittymää laajempi simulointimalli (väyläjakso tai pieni verkko). Yleissuunnittelussa ei yleensä ole tarpeen käyttää todellista ohjauskojetta, vaan liikennevalojen ohjauksen hoitavat simulointimallin omat ohjauskoje-oliot, joskin hieman karkeammalla tasolla kuin todellinen ohjauskoje.

Oliopohjainen simulointimalli ei sinänsä ole rajoittunut pelkästään liikennevalojen simulointiin, vaan muutkin autoliikenneympäristöt, kuten ohjaamatomat liittymät, liikenneympyrät ja eritasoliittymät, ovat simuloitavissa. Periaatteessa voidaan simuloida myös maantieliikennettä liittymien välillä.

HUTSIM soveltuu myös telematiikan vaikutusten arviointiin. HUTSIMillä on tarkasteltu mm. erilaisia valo-ohjausratkaisuja, muuttuvia nopeusrajoituksia ja automaattista nopeuden ja ajoneuvovälin säätöä.

TRAF-ohjelmistoperhe

Monet liikenteen hallinnan ratkaisut vaikuttavat kulkumuodon ja reitin valintaan. Matkojen suuntautumiseen kohdistuvien vaikutusten testaamiseksi on olennaista analysoida aluetta, joka käsittää valtaosan käyttökelpoisista reiteistä. Sen vuoksi tarvitaan simulointimalli, joka pystyy esittämään laajan kaupunkiseudun tie- ja katuverkon liikennevirrat ja jolla on riittävät käyttöedellytykset.

Yhdysvaltain Federal Highway Administration (FHWA) kehitti 1970-luvun puolivälissä ajatuksen integroidusta, erilaisia liikenneympäristöjä tarkastelevasta simulointijärjestelmästä, joka olisi mukautuva ja helppokäyttöinen ja optimoisi laskentojen tehokkuuden. Sen jälkeen FHWA on tukenut projektien sarjaa, jonka tuloksena on syntynyt ohjelmistoperhe TRAF.

TRAF koostuu integroiduista liikenneympäristön simulointimalleista. Koska tarkkuusvaatimukset vaihtelevat verkon osien välillä, simulointimallivalikoimaa täytyy voida räätälöidä tarpeiden mukaan. Käyttäjä voi jakaa analysoitavan verkon osaverkkoihin, joita analysoidaan eri tarkkuustasolla. Osaverkkojen yhdistäminen käy ohjelmistolta automaattisesti.

Jokainen TRAF-osamalli on suunniteltu kuvaamaan tietyn tyyppistä fyysistä

ympäristöä (katuja tai maanteitä) ja tietyllä simulointitarkkuudella (mikroskooppisella tai makroskooppisella). Mikroskooppiset simulointimallit kuvaavat yksittäisten ajoneuvojen liikeitä ja kuljettajien toimintaa. Detaljitason ratkaisujen, kuten bussipysäkin uudelleensijoittamisen tai pysäköintirajoitusten muuttamisen, vaikutuksia voidaan tutkia sellaisilla malleilla. Laajempia ratkaisuja, kuten väylämuutoksia, voidaan tutkia makroskooppisilla simulointimalleilla, joita voidaan käyttää myös yksityiskohtaisten ratkaisujen vaikutusten tarkasteluun niiden välittömien vaikutusalueiden ulkopuolella.

TRAF-järjestelmä sisältää myös liikenteen sijoitteluohjelman, joka on suunniteltu laajentamaan liikenteen simuloinnin sovellettavuutta suunnittelukäyttöön. Ohjelma muokkaa usein valmiina olevan lähtö-määräpaikkatiedon simulointimallien käyttämään muotoon.

TRAF on integroitu ohjelmistojärjestelmä, joka koostuu seuraavista osista:

NETSIM	mikroskooppinen stokastinen kaupunkiliikenteen simulointimalli
FRESIM	mikroskooppinen stokastinen maantieliikenteen simulointimalli
NETFLO 1	yksityiskohtainen makroskooppinen kaupunkiliikenteen simulointimalli
NETFLO 2	makroskooppinen kaupunkiliikenteen simulointimalli
FREFLO	makroskooppinen maantieliikenteen simulointimalli.

NETSIMin ja FRESIMin yhdistelmän nimi on CORSIM, korridorin mikroskooppinen simulointiohjelma. NETFLO 1-, NETFLO 2- ja FREFLO-mallit muodostavat liikennekorridorien analysointiin ryhmän nimeltään CORFLO.

Virginialainen Kaman Sciences Corporation on työskennellyt vuosia sotilaiden simulointiohjelmien parissa. Ohjelmistokehityksen ja simulointikokemuksen avulla yritys on siirtynyt liikennetekniikan alalle. Kamanilla ja USA:n FHWA:lla on viisivuotinen sopimus FHWA:n liikennemallien ja simulointijärjestelmien kehittämisestä, ylläpitämisestä ja sovittamisesta telematiikkaratkaisujen tutkimiseen soveltuviksi. Työn toisena tavoitteena on olemassa olevien liikennemallien ja -simulaattoreiden kehittäminen niiden tietojenkäsittelyn tehokkuuden, ohjelmistojen siirrettävyyden, ylläpidettävyyden ja sovellettavuuden, toiminnallisen kyvyn ja syöte- ja tulostuspiirteiden lisäämiseksi. (Dempsey 1996.)

FHWA:n mikroskooppiset liikenteen simulointimallit, NETSIM, FRESIM ja CORSIM, ovat erittäin monipuolisia, mutta melko vaikeita käyttää. Kaman soveltaa kehittyneitä tietoteknisiä ratkaisuja, kuten ikkunointiympäristöjä, paikkatietojärjestelmiä ja graafisia käyttöliittymiä, mallinnusjärjestelmien käytön helpottamiseksi ja todellisten ongelmien kuvaamiseksi.

NETSIM (Hanebutte, Tentner 1995)

NETSIM on laaja mikroskooppinen simulointiohjelma. Sen on kehittänyt U.S. Department of Transportation (DOT), Federal Highway Administration (FHWA). Varsinaisen työn on tehnyt KLD Associates, Inc. Kehitystyö alkoi 1970-

luvun alussa Urban Traffic Control System (UTSC-1) -ohjelmassa ja versio 5 julkaistiin maaliskuussa 1995.

NETSIM suorittaa yksittäisten ajoneuvojen mikroskooppista, stokastista simulointia kaupunkimaisessa liikenneohjauksisessa väyläjärjestelmässä. Nykymuotoinen NETSIM yhdistää liikenteen sijoittelualgoritmin ja mikrosimuloinnin. Liikenteen sijoittelumoduli (suhteellisen uusi lisä ohjelmistossa) on oikeastaan makroskooppinen virtojen määrittelijä, joka muuntaa lähtö/määräpaikkataulukon muodossa annetun liikenteen kysyntätiedon verkolle saapuviksi ajoneuvoiksi ja kääntymisosoituksiksi jokaisessa liittymässä.

NETSIM on tehty FORTRAN-ohjelmointikielellä. Ohjelmakoodi on yli 75 000 riviä pitkä. Ohjelma hyödyntää pakkaustekniikkaa muistivaatimusten pienentämiseksi. Se rajoittaa simuloitavan verkon maksimikokoa. Ylärajana pidetään 10 000 ajoneuvoa, 1650 linkkiä ja 700 solmua.

FRESIM

FRESIM on mikroskooppinen, stokastinen, aikapäivitystä käyttävä simulaattori, joka pystyy simuloimaan maantieliikenneoperaatioita. Se voi analysoida monimutkaisia ja epätavallisia geometrisia muotoja ja erilaisten suunnitteluratkaisujen, ohjaus- ja liikennemuuttujien yksityiskohtien vuorovaikutusta. Yksittäisten ajoneuvojen liikkeitä ja kuljettajien päätöksiä voidaan mallittaa tarkasti. FRESIM-verkko koostuu linkeistä ja solmuista. Linkit edustavat yksisuuntaisia tieosuuksia ja solmut geometrisia epäjatkuvuuksia, joissa linkit liittyvät toisiinsa.

FRESIM-ohjelmalla voidaan mallintaa liikenneoperaatioiden satunnaista vaihtelua päivästä toiseen liikennevirran ja kuljettajakäyttäytymisen vaihtelun vuoksi. Sen jälkeen voidaan muodostaa tietokanta liikenteen käyttäytymisestä ja siitä voidaan tehdä tilastollisia analyysejä. (Smith 1996.)

CORSIM ja TRAFVU

FHWA käynnisti vuonna 1995 selvityksen CORSIM-ohjelmiston muuttamisesta Windows-sovellukseksi. Tuohon aikaan CORSIM-prototyyppiä oli kehitetty DOS-sovelluksena, jossa ympäristössä se toimikin riittävän hyvin. Ohjelman ajo Windowsin DOS-ikkunasta oli kuitenkin hankalaa ja vaadittavat DOS-laajennukset olivat perinteisesti olleet ongelmallisia monissa PC-järjestelmissä. DOS ei myöskään tukenut CORSIMin käyttöä muitten ohjelmien kanssa.

CORSIM on Fortran-kielellä laadittu 150 000 rivin laajuinen ohjelmisto. Sen ohjelmakoodi perustuu NETSIM- ja FRESIM-simulaattoreiden koodiin ja on itse asiassa niiden yhdistelmä. Keskeinen vaatimus Windows CORSIMin tuottamisessa oli ohjelmakoodin muutosten minimointi kustannussyistä.

Windows CORSIM toimi niin hyvin ja vuorovaikutteisesti (sekä käyttäjän että muiden ohjelmien kanssa), että FHWA päätti keskittää CORSIM-kehitystyön Windows-ympäristöön ja lopettaa DOS-version tukemisen. Windows mahdollistaa CORSIMin helpon ja monipuolisen käytön. (Kaman Sciences 1997.)

CORSIMista on kehitetty reaaliaikaisesti toimiva versio, RT-CORSIM. Se sisältää käyttöliittymän, joka mahdollistaa ohjelman käsittelevän NETSIMistä tulevia anturisignaaleja. Ohjelma palauttaa NETSIMille valo-ohjaustiedot.

Ohjelma pystyy vertailemaan valo-ohjelmia ja valitsemaan parhaan. Arvioinnin tuloksia voidaan käyttää päättelymallien tukena ja niitä kehitettäessä. (Pooran ym. 1997.)

TSIS 4.0 -käyttöliittymä on kehitetty selvityksen perusteella. Se kehittää CORSIMin ominaisuuksia ja toimivuutta. FHWA on päättänyt tehostaa TSIS:n kehittämistä. (Kaman Sciences 1997.)

TRAFVU on ensimmäinen askel ajanmukaisen graafisen prosessorin ja yleisen graafisen käyttöliittymän kehittämisessä FHWA:n liikenteen simulointijärjestelmien TRAF-perheelle. C++-kielellä ohjelmoitu oliopohjainen TRAFVU tuottaa graafisia tulosteita FHWA:n CORSIM-järjestelmästä, joka integroi staattisella liikenteensijoittelumallilla varustetut NETSIM- ja FRESIM- (katu- ja tie) mikrosimulaattorit. (Kaman Sciences 1997.)

TRAFVU mahdollistaa saman liikenneverkon samoissa tai eri olosuhteissa tapahtuvan simuloinnin useiden näkymien yhtäaikaisen animaation. Se tarjoaa käyttäjäystävällisen ympäristön, joka sallii lukuisien simulointitulosten esitystapojen, kuten kaksi- ja kolmiulotteisten kuvaajien, taulukoitten ja diagrammien, analysoinnin. (Kaman Sciences 1997.)

AIMSUN2

AIMSUN2 (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks) on suhteellisen uusi espanjalainen mikrosimulointiohjelma, joka pystyy kuvaamaan liikenneoloja erilaisilla verkolla tietokoneen avulla. Se perustuu mikroskooppiseen simulointimenetelmään. Jokaisen yksittäisen ajoneuvon käyttäytymistä verkolla mallinnetaan useiden ajoneuvon käyttäytymismallien (autonseuranta, kaistanvaihto) mukaan koko sen järjestelmässä-oloajan. AIMSUN2 on yhdistetty diskreetti-jatkuva-aikasimulaattori: järjestelmässä on joitain elementtejä (ajoneuvot, ilmaisimet), joiden tila muuttuu jatkuvasti simuloinnin kuluessa, ja elementtejä (liikennevalot, saapumispisteet), joiden tila muuttuu diskreetisti määrätyillä hetkillä. Liikenneverkkoa voidaan mallintaa erittäin yksityiskohtaisesti: ohjelmisto erottelee erilaiset ajoneuvo- ja kuljettajatyypit, sallii hyvin erilaisten verkkogeometrioiden tarkastelun, mallintaa myös liikenteen häiriöitä, konflikteja jne. (Barceló ym. 1995.)

Äskettäin esitelty kuljettajien reitinvalintaa dynaamisesti päivittävä parannus asettaa AIMSUN2:n samaan luokkaan INTEGRATIONin kanssa. AIMSUN2:ta voidaan käyttää yhdessä GETRAMin, vuorovaikutteisen verkko- ja tietokantaohjelman, kanssa. GETRAMin tekee kiinnostavaksi sen kyky yhdistää EMME/2 meso- tai mikrosimulointiohjelmaan ja jopa toimia simulointiympäristöjen kokeilu- ja kehitysalustana. GETRAMin tarkoitus on tarjota yksi yhteinen verkko- ja tietokantaympäristö tilanteisiin, joissa analyysit edellyttävät useiden ohjelmien käyttöä. GETRAM sisältää oliopohjaisen graafisen käyttöliittymän. (Algers ym. 1996.)

AIMSUN2 käsittää viimeisimmässä versiossaan dynaamisen reitinvalintatoiminnon, joka mahdollistaa viitoituksen vaikutusten tutkimisen. Simuloinneilla saavutetaan matka-ajat, joita reitinvalintaohjelma käyttää dynaamiseen päivittämiseen. Ohjelma ottaa huomioon liikenteen häiriöt ja informaation tason. (Algers ym. 1996.)

Malli on suunniteltu liikenteenohjauksen vaikutusten analysointiin. Moottoritie-ohjauksessa AIMSUN2 pystyy mallintamaan ramppiohjausta, nopeudenohjausta ja muuttuvia opasteita. Taajamaliikenteessä voidaan tutkia valo-ohjauksen vaikutuksia. Liikenteen häiriöt ja esteet voidaan asettaa joko vuorovaikutteisesti simuloinnin kuluessa tai stokastisella algoritmilla. (Algers ym. 1996.)

AIMSUN2:ta on sovellettu GAUDI-nimisessä DRIVE-projektissa Bolognan ja Barcelonan pääsynsääteilykokeilujen tutkimiseen. Kiinnostavaa on GETRAM-ympäristön käyttö EMME/2:n ja AIMSUN2:n yhdistämiseen.

INTEGRATION

INTEGRATION-ohjelmisto on kehitetty Queen'sin yliopistossa Kingstonissa Kanadassa. Ohjelmisto on suunniteltu erilaisten liikenneverkolla ilmenevien ongelmien analysointiin. INTEGRATION tarjoaa erityisesti mahdollisuuksia integroitujen, moottoriteistä ja pääkaduista muodostuvien liikenneverkkojen, reaaliaikaisen liikenteen ohjauksen sekä reitinvalintajärjestelmien mallintamiseen. (Luoma 1996.)

INTEGRATION mallintaa liikennevirtaa yksittäisinä ajoneuvoina. Ohjelman käyttäjän ei tarvitse ilmoittaa tietoja yksittäisen ajoneuvon tarkkuudella, vaan liikennevirtaparametrit ja liikenteen kysyntä voidaan antaa karkeammalla tasolla. Ohjelma muuntaa tiedot mikroskooppisiksi yksiköiksi esim. generoimalla ajoneuvoja kysyntämatriisin mukaan. Ajoneuvojen etenemistä liikenneverkolla voidaan tutkia muistiin merkittävien tietojen avulla. (Luoma 1996.)

INTEGRATIONissa yhdistyvät liikennevirran simulointi ja dynaaminen reitinvalintakäyttäytymisen (liikenteen sijoittelun) mallintaminen. Se tarkastelee liikennevirran käyttäytymistä yksittäisten itsensä sijoittelevien ajoneuvojen avulla. INTEGRATION-malli voi simuloida viittä erilaista ajoneuvonkäyttäjätyyppiä, joilla voi olla erilainen ajantasaisen ja/tai historiallisen liikenneinformaation taso. (Smith 1996.)

Ohjelmiston käyttöliittymä ei ole kovin helppokäyttöinen, ja ohjelmiston käyttäminen onkin aloittelijalle hankalaa. INTEGRATIONin lähtötiedostot ovat ASCII-muotoisia ja niiden sisällön hahmottaminen on vaikeaa. Tulostiedostot ovat lähtötiedostojen kaltaisia. Liikenteen simuloinnista saadaan kuitenkin graafisia tulostuksia näytölle. (Salakka 1996.)

Myös INTEGRATIONissa verkko on kuvattu solmuilla ja linkeillä. Sekä linkkien että solmujen lähtötiedot on esitetty omissa tiedostoissaan. Lisäksi verkkoon liittyviä lähtötietoja on kuvattu valo-ohjaustiedostossa, liikenteen häiriötiedostossa ja valinnaisissa lähtötiedostoissa. (Salakka 1996.)

Liikenteen kysyntä ilmoitetaan INTEGRATIONille kysyntämatriisitiedostossa. Ohjelmisto muuttaa lähtötietoina annettavat lähtö- ja määräpaikkojen väliset matkat yksittäisiksi ajoneuvolähdöiksi. Kysyntä voidaan määrittää ajasta riippuvaiseksi, jolloin saadaan dynaaminen liikennevirtamatriisi. Tällöin voidaan kuvata lyhytaikainen kysynnän huippu verkon pitkäaikaisemman tasaisen kuormituksen keskelle. Simulointi tehdään aikajaksoittain, joiden määrän ja keston käyttäjä voi määrätä. Liikenteen kysyntämatriisitiedostossa voidaan määrittää lisäksi eri ajoneuvoluokkien osuus kysynnästä sekä halu-

tuille matkoille tietty määrä niin sanottuja anturiautoja, joista saadaan linkkien matkakohtaista tietoa esimerkiksi polttoaineen kulutuksesta ja pakokaasupäästöistä. (Salakka 1996.)

Simuloinnin kulkua ja liikenteen käyttäytymistä verkolla voidaan seurata simuloinnin aikana. Näytöltä voidaan tarkkailla eri luokkien yksittäisiä ajoneuvoja, linkkien ruuhkautumisastetta, liikennevalojen käyttäytymistä, liikenteen häiriötilanteita jne. (Salakka 1996.)

INTEGRATION on melko uusi ohjelmisto Suomessa. Sitä on käytetty Teknillisen korkeakoulun autolaboratoriossa tutkimukseen ajoneuvonavigoinnin vaikutuksista liikenteen energiankulutukseen. (Salakka 1996.)

MELROSE (Goto ym. 1995)

Japanissa kehitetään mikroskooppista simulointiohjelmistoa nimeltään MELROSE (Mitsubishi ELectric corporation ROad traffic Simulation Environment). MELROSE on kehitetty liikenteen dynaamisten hallintajärjestelmien, erityisesti valo-ohjauksen, toiminnan arvioimiseksi. Se pystyy simuloimaan sekä katu-että maantieliikennettä. Ohjelmisto pystyy esittämään animaatioita ajoneuvojen liikkeistä ja tilastoja simuloinnin kuluessa. MELROSEN simulointimallit muodostetaan oliopohjaisella ohjelmointitavalla, joka sallii mallien muokkauksen erilaisten liikenteen hallintajärjestelmien tutkimiseksi.

Ajoneuvojen liikkeitä simuloidaan diskreettiaikamenetelmällä seuraavien ajoneuvon liikemallien mukaan:

- ajoneuvon seuranta (kiihdyttäminen, hidastaminen, nopeuden ylläpitäminen, pysähtyminen)
- valo-ohjauksen huomioonottaminen (vihreä, punainen, nuoli, vilkku)
- ajo suoraan, kääntyminen vasemmalle ja oikealle
- kaistanvaihto (oikean kaistan valinta, kaistasulkujen ja pysäköityjen ajoneuvojen välttäminen, nopeampi ajo)
- odottaminen (oikealle kääntymisen odottaminen, liittymään ajon odottaminen ruuhkan vuoksi, jalankulkijoiden odottaminen)
- liittyminen/erkaneminen.

MICSTRAN-II (Saito ym. 1995)

MICSTRAN-II (Microscopic Simulation Model for Traffic Network II) on kehitetty MICSTRAN-I:n pohjalta parantamalla sen liikenneolojen kuvaustointintoja ja yleistämällä mallinnusehtoja. MICSTRAN-I kehitettiin Japanissa National Research Institute for Police Sciencessä vuonna 1974 keskittymällä kääntyvien ajoneuvojen ja jalankulkijoiden välisiin konflikteihin, kaistanvaihdon motiiveihin ja päätöksiin, joita on tarkasteltu mikroskooppisilla malleilla.

TRAS-TSC (Traffic Flow Simulator for Evaluation of Traffic Control) on liikenteen valo-ohjauksen arviointiin kehitetty työkalu, joka käyttää MICS-TRAN-II:ta liikenteen kuvaamiseen. Laajan käytön vuoksi TRAS-TSC on suunniteltu sekä tapauksiin, joissa arvioitavat valo-ohjelmat asennetaan

simulaattoriin että tapauksiin, joissa ohjauskoje kytketään järjestelmään.

TRAS-TSC:n käyttöliittymä mahdollistaa liikenneverkon syöttämisen tietokoneelle skannaamalla. Simuloinnin tuloksia voidaan tarkastella animaationa ja linkkikohtaisesti erilaisten kuvaajien avulla.

Tiss-NET WIN (Sakamoto ym. 1995)

Katuympäristön suunnitteludetajit ja kadunvarsipysäköinti vaikuttavat merkittävästi katujen kapasiteettiin. Ongelmaa voidaan analysoida liikenteen tilaa kuvaavilla simulointimalleilla. Laajojen verkkojen kuvaamiseen kehitettyjä sijoittelumalleja ei voida käyttää tähän tarkoitukseen, koska ne eivät pysty ottamaan huomioon mikrotason tapahtumia, kuten kadunvarsipysäköintiä, pysäköintijonoja, liittymätoimintoja jne. Tiss-NET (traffic impact simulation subsystems for road NETwork for WINdows) on kehitetty tähän tarpeeseen.

Tiss-NET integroi liikenteen mikrosimuloinnin ja sijoittelun verkolle muutamin rajoituksin, esim. reitti määräytyy kokonaan lähtöpaikasta. Reitin määräytymiseen voidaan vaikuttaa kuljettajaparametreilla, kuten aikaisemmalla kokemukseilla. Pyrkimyksenä on ottaa huomioon informaation vaikutus reitinvalintaan sekä tilastollisesti että dynaamisesti. Tiss-NET WINin reitinvalintamekanismi on kuitenkin yhä melko yksinkertainen.

FLEXSYT II (Algers ym. 1996)

Alankomaiden liikenneministeriön kehittämää FLEXSYT II:ta voidaan käyttää erilaisten pienessä moottori- ja taajamatieverkossa tehtävien liikenteenohjaustoimenpiteiden kuvaamiseen. Erityisen FLEXCOL-76-ohjelmointikielen avulla voidaan määritellä ja simuloida monenlaisia toimenpiteitä.

Ohjelmassa voidaan käyttää kahdeksaa erilaista ajoneuvoluokkaa, joihin voivat kuulua myös polkupyöräilijät ja jalankulkijat. Käytävissä ei ole reitinvalintafunktioita, vaan ohjelmalla voi mallintaa ainoastaan liikennevirtaa. FLEXSYT II perustuu tapahtumapäivitykseen, mikä tarkoittaa, että ohjelma suorittaa toiminnon vain silloin, kun jotain tapahtuu, esim. valot vaihtuvat, ajoneuvo joutuu muuttamaan nopeuttaan tai ohittaa ilmaisimen. Ohjelman tulostietoja ovat liikennemäärät, viivytykset, jononpituudet ja päästöt.

FLEXSYT II:n soveltuu ohjaustoimenpiteiden vaikutusten simulointiin. Näitä toimenpiteitä voivat olla valo-ohjaus, maksujärjestelmät ja pääsyn säätely taajamassa, nopeus- ja ajokaistarajoitukset moottoritiellä. Opastuksen ja valo-ohjauksen vaikutuksia reitinvalintaan ei FLEXSYT II:lla voida tutkia, koska siinä ei ole reitinvalintatoimintoja. Pyöräilijöillä ja kävelijöillä on oma verkkonsa ja vuorovaikutusta ajoneuvojen kanssa mallinnetaan konfliktipisteissä aikavälien avulla.

VTI, Ruotsalainen tieliikenteen simulointimalli (O'Carra ym. 1995)

VTI-malli on suunniteltu kuvaamaan ajoneuvoliikenteen toimintaa kaksikaisilla maanteillä. Se soveltuu myös tieliikenteen telematiikan kehitystyökaluksi. Viimeisin versio sisältää mm. kuljettajan avustamisen ja ajoneuvonhallinnan simuloinnin.

Mallijärjestelmää on kehitetty, laajennettu ja paranneltu pitkän ajan kuluessa. Alkujaan se suunniteltiin Ruotsin tieliikenteestä saadun empiirisen tiedon perusteella. Käyttöönotto muissa maissa on kuitenkin laajentanut tietämystä ja saanut aikaan lukuisia laajennuksia ja parannuksia. Mallia on käytetty Suomessa, Isossa-Britanniassa, Saksassa, Norjassa ja Kreikassa. Se on sovitettu myös Intian äärimäisiin tieoloihin, mikä osoittaa sen hyvän sovelletavuuden.

Malli kattaa laajan kirjon kaksisuuntaisen tien ominaispiirteitä. Se käsittelee myös liikenteen ohjaustoimia, kuten yleisiä ja paikallisia nopeusrajoituksia ja ohituskieltoja. Malli pystyy käsittelemään useita ajoneuvotyyppisiä: henkilö-, kuorma- ja linja-autoja ja perävaunullisia rekkoja, ja mahdollistaa eri tavoin käyttäytyvien kuljettajien simuloinnin.

Mallin tulostus on erittäin monipuolinen ja simuloinnin kohteesta riippuvainen. Viimeisimmässä versiossa tulostus käsittää ensisijaisesti:

- kunkin ajoneuvotyyppin keskimääräisen matka-ajan/nopeuden
- kunkin ajoneuvotyyppin keskimääräisen polttoaineenkulutuksen
- haitallisten pakokaasujen määrän.

Monet liikenteen laatua kuvaavat suureet on mahdollista määrittää välillisesti. Simulointiohjelmat eivät ainakaan vielä tuota yksiselitteisiä liikenneturvallisuutta koskevia tunnuslukuja. Turvallisuusseikkoja voidaan kuitenkin kuvata konfliktien avulla.

TRARR

Kaksikaistaisen tien liikenteen kuvaamiseen on kehitetty monia simulointimalleja, joista tunnetuimpia on australialainen TRARR (TRAffic on Rural Roads). Se on kehitetty vuosina 1978 - 1980 Australian Road Research Board:ssa. Ohjelma on luonteeltaan mikroskooppinen ja kuvaa kunkin yksittäisen ajoneuvon ja sen kuljettajan ominaisuudet suurella joukolla parametreja, joista voidaan mainita esimerkiksi ajoneuvon pituus, kiihtyvyys ja hidastuvuus sekä kuljettajan jono- ja ohituskäyttäytymistä kuvaavat parametrit. Kaikkiaan ohjelmassa on määritetty 18 erilaista ajoneuvo- ja kuljettajatyypin yhdistelmää. TRARR-ohjelma määrittelee myös tarkasteltavan tien ominaisuudet hyvin yksityiskohtaisesti. (Kosonen, Pursula 1996.)

Ohjelmalla simuloidaan liikenteen käyttäytymistä tarkasti mallinnetulla tiellä sekä tutkitaan tien ja liikenteen koostumuksen vaikutusta. Tien geometriaa muuttamalla voidaan verrata eri vaihtoehtoja keskenään. Liikenteen koostumusta muuttamalla voidaan tutkia liikennemäärän ja raskaiden ajoneuvojen määrän, ajoneuvokoon ja tehon vaikutuksia. Tutkittavia liikennevirran ominaisuuksia ovat mm. nopeus, matka-aika, jononmuodostus, jonossa-ajoaika, ohitusten lukumäärä ja polttoaineen kulutus. (Sorsa 1994.)

TRARR-simulointitulostus sisältää yksityiskohtaisia tietoja liikennevirran nopeuksista ja ohitusten määrästä käyttäjän määrittelemissä tienkohdissa ja pidemmällä tiejaksoilla. Suomessa ohjelmaa on käytetty erityisesti ohituskaistojen vaikutusten tarkasteluun ja Lahden moottoritieellä toteutetun kolmikaistatien analysointiin. TRARR soveltuu myös kaista- ja ramppiohjauksen mallintamiseen. TRARR-mallin vahvuus on sen varsin yksityiskohtaisessa liikenne-

mallissa, joka on voitu kalibroida tyydyttävästi myös suomalaisiin olosuhteisiin. (Kosonen, Pursula 1996.)

SITRA B+ (Algers ym. 1996)

Ranskalainen CERT/ONERAn kehittämä SITRA B+ on mikroskooppinen ohjelma, joka on alkujaan kehitetty taajamateiden mallintamiseen. Se on sukua NEMIS-ohjelmalle. SITRA B+:n pääkäyttötarkoitus on keskusta-alueiden rajallisen katuverkon simulointi. Sitä voidaan käyttää myös maanteiden ja moottoriteiden simulointiin, jos tieverkko on suppea.

SITRA B+ simuloi yksittäisten ajoneuvojen liikkeitä. Autonseurantamalli ohjaa jokaisen ajoneuvoluokan ajokäyttäytymistä. SITRA B+:n liikennevalot ovat kiinteästi aikaohjauksisia. Malliin voidaan kuitenkin laatia muuttuvia ohjelmia.

Ajoneuvoluokkien määrä on rajoittamaton. Pituus, autonseurantaominaisuudet, turvaväli ja reaktiotekijä pitää määritellä jokaiselle luokalle.

Simulointia koskevat rajoitukset ovat lähinnä käytännöllisiä. Tavallisesti rajoitetaan muutaman tuhannen ajoneuvon simulointiin kerralla. Tyypillinen simulointialue on noin neliökilometrin suuruinen kahdensadan metrin liittymäväliillä.

SITRA B+ pystyy käsittelemään telematiikkasovelluksia, kuten lähetintekniikkaa ja opastusjärjestelmiä. Sitä on käytetty mm. Lyonissa liikennejärjestelyjen (bussikaistojen) tutkimiseen, Beynacissa valo-ohjauksen testaamiseen ja Toulousessa lähetintekniikkaan perustuvan opastusjärjestelmän tutkimiseen.

Autobahn Simulator (Algers ym. 1996)

Autobahn Simulator (AS) on mikroskooppinen ohjelmisto, joka on kehitetty moottoritien ajo-olojen ja riskitilanteiden tutkimiseen. Sitä voidaan käyttää erityisvarusteltujen (esim. automaattinen nopeuden ja ajoneuvovälin säädin) ajoneuvojen uusien ajo-ominaisuuksien tutkimiseen. Ajoneuvojen erilaisten ominaisuuksien avulla voidaan tutkia varustelluista ja varustelemattomista ajoneuvoista koostuvaa liikennettä.

AS simuloi jokaista ajoneuvoa ns. liiketilakäyrän avulla. Niiden avulla määritetään ajoneuvojen tila ajan ja paikan suhteen ja voidaan tutkia niiden aika- ja matkavälejä pituus- ja sivusuunnassa. Simuloinnin perustana on mikroskooppinen autonseurantamalli.

Kuljettaja-ajoneuvoyksiköiden ominaisuuksia voidaan muuttaa vapaasti. Jokaiselle yksikölle täytyy määritellä maksimihidastuvuus, pituus, kiihtyvyys, kuljettajan havaintoraja ja vaarallinen aikaväli. Se tapahtuu tavallisesti ajosimulaattoritutkimuksista johdettujen stokastisten jakaumien avulla.

Simulointiohjelmistolla on tutkittu pullonkaulatilanteita ja automaattista nopeudensääntöä. Kokeet ovat osoittaneet, että automaattinen nopeudensäädin pelkästään suositeltuna aiheuttaa vain vähäisiä vaikutuksia. Sen sijaan automaattisesti kytkeytyvä nopeudensäädin voi vähentää yhtä sekuntia pienempien vaarallisten aikavälien osuuden 25 - 30 prosentista alle viiteen prosenttiin.

DRACULA (Algers ym. 1996)

Institute for Transport Studies'ssa Leedsissä kehitteillä olevan DRACULAn voidaan sanoa olevan makroskooppisen SATURNin mikroskooppinen seuraaja ja kuuluvan ohjelmistoperheeseen, jolla mallinnetaan stokastisia prosesseja. Ohjelman keskeisenä ajatuksena on ottaa huomioon vaihtelut liikenteen tarjonnassa ja kysynnässä perinteisten tasapainomallien avulla. Vaihtelut voivat johtua häiriöiden, yleisötapahdumien, sään, kelin ja liikenteen yhteisvaikutuksesta. Vaihtelua mallinnetaan niin vuorokausittain kuin kuljettajittainkin. (Algers ym. 1996.)

DRACULA koostuu osamalleista, jotka kuvaavat kysyntää, reitinvalintaa, perus- ja tasapainosijoittelua. Kysyntämalli perustuu potentiaalisten autoilijoiden joukkoon, jonka jäseniä kuvataan sekä kiinteillä ominaisuuksilla (asuin- ja työpaikan sijainti, ajotapa ym.) että vaihtelevalla, matkakohtaisesti päivittyvällä tietämyksellä tiestöstä ja liikenteestä. Yksilöiden ominaisuuksilla on todellisen väestön mukainen satunnaisjakauma. Yksilöt tekevät mallissa neliporrasmallin mukaisia matkapäätöksiä päivittäisperiaatteella.

Reitinvalintamallissa yksilöt päättävät reiteistään yleistetyn kustannuksen perusteella. Päätöksentekoperuste voi olla maksimihyöty tai "järkevä valinta". Matkalla käytetään edellisen matkan reittiä, ellei joku toinen reitti ole määrätyn verran edullisempi.

Sijoittelu tapahtuu ennalta määriteltujen ajoneuvomatkojen mikrosimuloinnin avulla. Liikenteen tarjonta ja reittien matka-ajat voivat vaihdella päivittäin tiestön, tietöiden, ruuhkautumisen ym. mukaan. Ajoneuvoja simuloidaan sekunneittain ajoneuvonseurantalakien ja yksilöllisten parametrien (reaktio-aika, tavoitenopeus, pienin ajoneuvoväli ja siihen liittyvä riskitekijä) mukaan. Valo-ohjausta ja ohjaamattomia liittymiä simuloidaan yksityiskohtaisesti.

DRACULAn sovellusmahdollisuudet käsittävät matkansuunnittelujärjestelmän, maksujärjestelmän, liikenteenohjausjärjestelmän ja opastusjärjestelmän. Mikrosimulointiin perustuvana malli vaatii erittäin runsaasti resursseja, sekä lähtötietoja että tietojenkäsittelykapasiteettia. Sen seurauksena tärkeimmäksi sovellusalueeksi muodostunee mieluummin makromalleilla tehtyjen keskeisten oletusten testaaminen kuin koko kaupungin liikenteellisten vaikutusten analysoiminen. Dynaamisen mikrosimulointimallin vahvuuksiin kuuluu kyky mallintaa ajantasaista tiedotusta ja ohjausta. Mallin avulla voidaan simuloida esimerkiksi dynaamisen liikenneohjauksisen valo-ohjausjärjestelmän viivytys- ja reitinvalintavaikutuksia. Opastus on myös tärkeä sovellusalue, jolla DRACULAA ensi kerran kokeiltiin MARGOT-projektissa. Tulokset osoittavat, että malli pystyy ennustamaan opastuksen hyödyt käyttäjämäärän kasvaessa.

PARAMICS

PARAMICS (PARAllel MICROscopic Simulator) on ohjelmisto, joka pystyy tarkastelemaan laajan alueen ruuhkautumista mikroskooppisella simuloinnilla. Ohjelmisto käyttää rinnakkaisprosessointia, jonka avulla se pystyy käsittelemään tutkittavaa verkkoa lukuisina pieninä alueina. (Quadstone Ltd 1997.)

PARAMICS kykenee rinnakkaisprosessoinnin vuoksi simuloimaan reaaliaikaisesti erikokoisia liikenneympäristöjä yksittäisestä liittymästä valtakunnallisiin

verkkoihin. Ohjelmisto tarjoaa myös simuloinnin visualisoinnin, vuorovaikutteisen verkkoeditorin, valo-ohjauksen sovituksen ja liikenteen ohjauksen arvioinnin. Malliin on mahdollista tuoda verkkotieto suoraan esim. SATURNista ja liikennetieto lähtöpaikka/määräpaikkamatriisimuodossa. (Quadstone Ltd 1997.)

PARAMICS pystyy simuloimaan erilaisia telematiikkaratkaisuja, kuten liikennevaloja, ramppiohjausta, muuttuvia nopeusrajoituksia ja ajoneuvopäätteitä. Ohjelmistossa on uudelleenreititystoiminto, jonka joustavuutta voidaan ohjata käyttäytymissäännöillä. (Quadstone Ltd 1997.)

PARAMICS on käytössä monissa projekteissa Isossa-Britanniassa ja Yhdysvalloissa palvelu/konsulttiperusteisesti. Ohjelmistoa myydään kaupalliseen käyttöön. Hinnat alkavat 50 000 \$:sta. (Quadstone Ltd 1997.)

PARAMICS-CM, jossa CM on tulee sanoista "congestion management", on jatkoa PARAMICS-projektille, joka osoitti rinnakkaissimuloinnin käyttömahdollisuudet erittäin suurten verkkojen liikenteen simuloinnissa. Projekti on eurooppalainen vastine amerikkalaisille TRANSIMS- ja THOREAU-hankkeille. (Algers ym. 1996.)

PARAMICSin perusversiossa on mukana antureista, lähettimistä ja muuttuvista opasteista muodostuva liikenteenhallintajärjestelmä. CM-versiossa on kehitystyötä tehty erityisesti telematiikan osalta. Ohjelmaan on sisällytetty kolme erityistä tietorakennetta: häiriötapahtumat, vaikutukset ja reitinpäivitys. Eri määrittäyksillä voidaan tutkia erilaisten häiriöiden vaikutuksia reitinvalintaan. Muodollisen sääntökielen avulla telematiikan vaikutuksia voidaan helposti tutkia ohjelman kehittyessä ja telematiikan herättämien reaktioiden selvittäessä. (Algers ym. 1996.)

5.4 Liikenteen makroskooppiset simulointiohjelmat

SATURN (Salakka 1996)

SATURN on ohjelmisto, jolla voidaan tehdä sekä laajan liikenneverkon sijoittelua että verkon yksityiskohtaisempien osien simulointeja. Sijoittelun ja simuloinnin tuloksia voidaan ohjelmistossa käyttää toistensa lähtötietoina. SATURN-ohjelmistoa voidaan myös käyttää yksittäisten liittymien simulointiin sekä liikenneverkon tietokanta- ja analyysijärjestelmänä.

SATURN on lyhenne sanoista Simulation and Assignment of Traffic to Urban Street Networks. Sen on kehittänyt The Institute of Transport Studies Leedsin yliopistossa Englannissa. Ohjelmiston kehitystyö alkoi vuonna 1979. Ohjelmointikielenä on käytetty Fortrania. Ohjelma on atk-teknisesti avoin, joten käyttäjät voivat muuttaa tai täydentää ohjelmistoa tarpeidensa mukaan. SATURNissa verkon kuvaus on kaksitasoinen. Sijoittelussa käytettävä verkko (buffer network) on simulointiverkkoa (inner network) ympäröivä alueellinen verkko, joka kuvataan normaalien sijoitteluohjelmistojen tapaan linkkiperusteisena. Simulointiverkolla puolestaan mallinnetaan yksityiskohtaisesti osalualueita ja keskustoja. Sen kuvauksessa keskitytään solmujen kuvaukseen. Verkko voidaan kuvata tarvittaessa vain joko sijoitteluverkkona tai simulointiverkkona.

Myös SATURNissa liikenteen kysyntä esitetään liikennevirtamatriisin avulla. Ohjelmisto pystyy muodostamaan liikennevirtamatriisin käytettävissä olevien liikennelaskentatietojen perusteella. Menetelmän käyttö vaatii kuitenkin erityistä huolellisuutta ja varovaisuutta sekä runsaasti laskentatietoa.

Simulointi saa lähtötiedoikseen sijoittelusta linkkien liikennemäärät ja määrittää tämän jälkeen solmujen aiheuttamat viivytykset. Viivytyksiä lisäävät myös linkkien keskinäiset vaikutukset. Simulointi tuottaa sijoittelulle lähtötiedoiksi liikennemäärä – matka-aika-riippuvaisuudet.

Tutkittava ajanjakso jaetaan lyhyempiin ajanjaksoihin samantyyppisesti kuin CONTRAM-ohjelmistossa. Kullekin ajanjaksolle määritetään jaksokohtainen liikennemääräprofiili (cyclic flow profile), joka ei muutu kyseisen ajanjakson aikana. Jaksokohtaisella liikennemääräprofiililla kuvataan tietyn pisteen ohittavaa liikennemäärää verkolla ajan funktiona. Ajanjaksot jaetaan tavallisesti 10:stä 20:een pienempään aikayksikköön, jotta liikennemääräprofiili voidaan määrittää tietokoneelle kunkin aikayksikön liikennemääränä.

Jaksokohtainen liikennemääräprofiili perustuu kääntymisiin solmuissa ja niistä aiheutuviin viivytyksiin sekä solmun läpäisevän liikennemäärän muutoksiin. Kääntymisiä kuvaavien liikennemääräprofiilien muodostamisessa otetaan huomioon mm. jonon hajaantumismalli, liittymän läpäisevien ajoneuvojen määrä, kapasiteetti, valo-ohjauksen ajoitus ja risteävät liikennevirrat. Näin saadaan määritettyä tarkasti liikenteen käyttäytyminen liittymässä ja sen perusteella sijoittelulle liikennemäärä – matka-aika -riippuvaisuus.

Simuloinnissa voidaan ottaa huomioon linkin ruuhkautuminen ja jonojen edellisille linkeille aiheuttamat vaikutukset. Jonon muodostuessa linkille vähenee myös edellisten linkkien välityskyky ruuhkautumisen vaikutusten johdosta (blocking back).

Ohjelmistolla saadut tulokset ovat todenmukaisia ja yhteneviä liikennetutkimuksissa saatujen tulosten kanssa. Valo-ohjauksen mallinnus on ohjelmistossa toimiva. SATURNin ominta aluetta ovat simulointi ja pienet mallit, kuten esimerkiksi ydinkeskustojen mallintaminen. SATURN soveltuu esim. opastusjärjestelmien simulointiin.

METANET

Kreetan teknillisessä korkeakoulussa kehitetty METANET on makroskooppinen ohjelmisto, joka on kehitetty moottoritieohjauksen tutkimiseen. Sen runko perustuu moottoriteiden liikennevirran teoriaan (peruskuvaajaan) ilman liikenteen telematiikkaa. Lisäosien avulla käyttäjä voi vapaasti määrätä ohjausperiaatteet, jossa kaikkia parametreja, kuten liikennemäärää, -tiheyttä ja nopeutta, voidaan käyttää liikenteen määrittämiseen. Ohjelma toimii siten hyvänä työkaluna erilaisten ohjausperiaatteiden kokeilemiseen.

Ilman telematiikkaa ohjelmistoa voidaan käyttää myös liikenteen lyhytaikaiseen ennustamiseen ja monimutkaisen verkon valvomiseen, muutosten, kuten uuden ajokaistan tai rampin, vaikutusten arvioimiseen ja kapasiteetti-muutosten vaikutusten arvioimiseen tietöistä tai yleisötapahtumista aiheutuviin kysynnän muutosten yhteydessä.

Häiriöitä simuloidaan antamalla niiden ajankohta (vuorokausi), sijainti (tietosuus ja tarkka paikka) ja vakavuus (kapasiteetin muutos). Ne vaikuttavat yleisiin liikennevirtamalleihin, joiden avulla vaikutukset voidaan määrittää.

Liikenne kuvataan ajasta riippuvana virtana, jolle annetaan tarvittaessa lähtö- ja määräpaikkatiedot. Reitinvalinta verkossa kuvataan kullakin tietosalla olevan liikenteen poistumislinkkien osuuden avulla. Osuudet voidaan määrittellä tiedostossa tai reitinvalinta-aliohjelman avulla.

METANETin tulokset koostuvat liikennetiheydestä, liikennemäärästä ja keskinopeuksista verkon kaikille osille jokaisena ajanjaksona (yleensä 5 - 20 s). Tulokset voidaan myös yhdistellä pidemmille ajanjaksoille. Koko verkolle määritetään matka-aika, suorite, polttoaineen kulutus, odotusaika rampeilla jne. METAGRAF-ohjelma lisää havainnollistamismahdollisuuksia.

5.5 Liikenteen mesoskooppiset simulointiohjelmat

CONTRAM

Liikenneverkon ruuhkautumisen vaikutusta liikenteen käyttäytymiseen on vaikea mallintaa yksinkertaisilla manuaalisilla menetelmillä. Häiriötilanteet liikenneverkolla voivat johtua hyvinkin satunnaisista, vaikeasti ennustettavista tekijöistä. Laajat perinteiset reitinvalintamallit eivät kykene kuvaamaan tarpeeksi tarkkoja yksityiskohtia ja lyhyen aikavälin muutoksia liikenneverkolla erilaisten järjestelyjen vaikutusten arvioimiseksi. Tämän takia on tarvittu simulointiohjelma mallintamaan erilaisia liikenteen järjestelyvaihtoehtoja. (Salakka 1996.)

Esimerkkinä kaupunkiliikenteen mallintamiseen soveltuvasta simulointiohjelmasta voidaan mainita Englannin tie- ja liikennelaboratoriossa 1970-luvun alusta lähtien kehitetty CONTRAM (CONTinuos TRaffic Assignment Model), joka toiminnaltaan on mikro- ja makrosimuloinnin välimuoto. CONTRAM tarkastelee liikennettä ajoneuvoryhminä, joita se sijoittelee dynaamisesti. Ohjelmalla voidaan käsitellä varsin suuria simulointimalleja, jotka kattavat esimerkiksi kokonaisen kaupunkikeskustan. CONTRAM ottaa simuloinnissa huomioon liikenneverkon rakenteen, valo-ohjauksen järjestämistavan ja liikenteen jakautumisen eri reiteille liikennetilanteen mukaan. Simuloinnin tuloksena saadaan mm. matka-aikoja, viivytyksiä ja keskinopeuksia sekä tieto liikenteen jakautumisesta eri reiteille. Ohjelma onkin tarkoitettu erilaisten kaupunkiliikenteen järjestelyjen tutkimiseen ja vertailuun. Liikennemalli ei kuitenkaan sisällä jalankulkijoita. (Kosonen, Pursula 1996.)

CONTRAMilla käsiteltävän verkon maksimikoko riippuu käytettävissä olevan keskusmuistin koosta, mutta linkkien maksimimäärä on noin 1 000 - 1 500 ja solmujen 300 - 400. Myös aikajaksojen ja lähtö-määräpisteparien määrä vaikuttaa verkon maksimikokoon. Tyypillinen CONTRAMilla kuvattu verkko koostuu korkeintaan 50:stä sisään-tulo- ja ulosmenopisteestä, 500 - 1 000:n lähtöpiste-määräpisteparin välisistä matkoista sekä korkeintaan 400:sta linkistä ja 25:stä liikennevaloista. (Salakka 1996.)

Ohjelma on käyttöliittymältään alkeellinen. Sen syöttö- ja tulostiedostot ovat

ASCII-muotoisia, eikä itse ohjelmassa ole grafiikkatulostuksia. Norjassa on kehitetty CONTRAMiin apuohjelma, jolla voidaan tehdä kuvatiedostoja. Liikenneverkko kuvataan annetuilla lähtö- ja määräpisteillä, linkeillä ja liittymillä. Linkki on yksisuuntainen tiejakso kahden liittymän välillä. Useampia samaan suuntaan kulkevia kaistoja voidaan kuvata tarpeen mukaan yhdellä (esimerkiksi linjaosuudet korkealuokkaisilla väylillä) tai useammalla (liittymissä kuvaamassa kaistajärjestelyjä) linkillä. (Salakka 1996.)

Valo-ohjauksen määritykseen CONTRAMissa voidaan valita joko kiinteä tai optimoitu kiertoaika ja kiinteät tai optimoidut vaiheet. Ohjelma pystyy mallintamaan myös valojen yhteenkytkentää ja laskemaan optimiajoitukset valoille.

Sijoitettava liikennemäärä esitetään lähtö-määräpaikkamatriisissa matkojen määränä lähtöpaikan ja määräpaikan välillä. Ajoneuvot voidaan jakaa kolmeen luokkaan ja tavallisimmin nämä luokat ovat henkilöautot, linja-autot ja raskaat ajoneuvot. Jokaiselle ajoneuvoluokalle määritetään oma lähtö-määräpaikkamatriisi. Erilaisilla kertoimilla voidaan kuvata muita ajoneuvoluokkia perusluokkien avulla.

Simulointi voidaan jakaa yhteensä 13 ajanjaksoon, pituudeltaan tavallisesti kymmenestä minuutista puoleen tuntiin. Tämän ominaisuuden vuoksi voidaan CONTRAMilla simuloida tilanteita, joissa liikennemäärät vaihtelevat voimakkaasti ajan funktiona. Näiden ajanjaksojen aikana liikenteen kysyntä on vakio. Sen vuoksi jokaista ajanjaksoa kohti tulee kullekin ajoneuvoryhmälle määrittää oma kysyntämatriisi. Ajanjaksojen tulisi olla sopivan lyhyitä kuvaamaan liikenteen vaihtelua hyvin etenkin silloin, kun liikennemäärät lähestyvät joidenkin linkkien kapasiteettia. (Salakka 1996.)

CONTRAMin simulointiperiaate on kutakin ajoneuvoa erikseen tarkastelevan mikroskooppisen ja liikennettä virtauksena tarkastelevan makroskooppisen tarkastelutavan välimuoto. Lähtö-määräpaikkavälien liikennevirrat jaetaan vakiokokoisiksi ajoneuvoryhmiksi eli paketeiksi. Ohjelmisto suorittaa tasapainosijoittelun iteratiivisella prosessilla, jossa ajoneuvopaketeille pyritään löytämään kustannukset minimoiva reitti. Kustannusfunktio voi olla pelkkä matka-aika- tai yleistetty kustannusfunktio. Ajoneuvoille, esimerkiksi linja-autoille, voidaan määrätä myös kiinteitä reittejä, joita ne käyttävät sijoitteluhetkestä riippumatta. (Salakka 1996.)

Itse iterointiprosessi alkaa ensimmäisen paketin sijoittamisella verkolle matkakustannuksiltaan edullisimmalle reitille. Paketille lasketaan myös liittymäviivytykset, jotka ovat tässä vaiheessa arvoltaan nolliä. CONTRAM taltioi paketin käyttämän reitin ja ajanjakson, jolloin paketti oli kullakin linkillä. Verkon linkkien liikennemääriä korjataan niillä olevien pakettien ajoneuvomäärillä. Saatujen liikennemäärien perusteella voidaan laskea uudet liittymäviivytykset ja käyttää niitä seuraavan paketin reitinvalinnan perusteena. Prosessia jatketaan, kunnes kaikki paketit on sijoitettu ja ensimmäinen iteraatiokierros siten suoritettu. (Salakka 1996.)

Koska ensimmäisellä iteraatiokierroksella osa paketeista sijoitetaan tyhjiin verkkoon, ei yleensä synny vielä tasapainotilannetta. Iterointia jatketaan kuten ensimmäisellä kierroksella käyttämällä edellisen kierroksen tuloksia seuraavan kierroksen lähtötilanteena. Usean kierroksen jälkeen saavutetaan tasapainotila, jolloin pakettien reitit eivät enää muutu uusien sijoittelujen

johdosta. Prosessin suppenemista tasapainotilaan ei ole voitu yleisesti todistaa, mutta toistaiseksi ei ole tavattu yhtään tapausta, jossa tuloksena ei olisi saatu tasapainotilaa. (Salakka 1996.)

CONTRAM-ohjelmisto on hienopiirteinen ja suhteellisen nopea, yleensä iteraatiokierroksia tarvitaan alle 10. Käyttöliittymä on alkeellinen. Tulostiedot ovat erittäin laajoja ja raskaita käsitellä. Ohjelmiston parhaina ominaisuuksina voidaan pitää liikennevalojen sekä jononmuodostuksen mallintamista. Jonon muodostuessa linkille CONTRAM vähentää välityskykyä kaikilta tukkeutuneeseen linkkiin kytketyiltä linkeiltä (blocking back). (Salakka 1996.)

CONTRAMin ajoneuvopaketteja sijoitteleva toimintaperiaate soveltuu hyvin muuttuviin reittiopastussovelluksiin. Muita hyödyllisiä toimintoja ovat määrättyt reitit, eri ajoneuvotyyppien mallintaminen ja valo-ohjauksen optimointi. Useimpien sijoittelumallien tapaan CONTRAM sijoittelee ajoneuvot pienimmän matka-ajan (tai -kustannuksen) mukaisille reiteille. Jos tämä todella tapahtuisi käytännössä, ei reittiohjausta tarvittaisi lainkaan. Tosiasiassa lukuisat empiiriset tutkimukset ovat osoittaneet, että kuljettajat eivät aina pysty löytämään parhaita reittejä. Ruuhkaisilla kaupunkialueilla se olisikin hämmästyttävää, sillä kuljettajilla on vain "historiallista" tietoa todennäköisistä ruuhkista. Erinäisissä tutkimuksissa reitinvalinnan tehottomuudesta johtuvaksi keskimääräiseksi "tarpeettomaksi" matka-ajaksi on saatu 6 - 15 %. Muuttuvan reittiohjauksen taloudellisesta hyödystä suurin osa tulee tämän tehottomuuden vähentämisestä. (Hounsell ym. 1991.)

CONTRAMista on kehitetty lukuisia paranneltuja versioita, joita on käytetty myös telematiikkaprojekteissa. Seuraavassa niistä esitellään MCONTRM ja RGCONTRAM.

MCONTRM (Morin ym. 1991)

MCONTRM on TRL:ssä Isossa-Britanniassa mootoritiieverkkojen liikenneoperaatioiden analysoimiseksi ja viitoitusstrategioiden arvioimiseksi kehitetty sijoitteluun pohjautuva simulointimalli. Liikenteen sijoittelu tieverkolle perustuu kuljettajien valitsemiin nopeimpiin tai kustannuksiltaan alhaisimpiin reitteihin ja tapahtuu yksittäisten ajoneuvojen tai ajoneuvoryhmien muodossa.

MCONTRM pystyy liikenteen lähtö-määräpaikkatiedon perusteella ennustamaan ajoneuvojen reitit, liikennemäärät ja jonot verkon kaikilla linkeillä ja mallintamaan ruuhkien muodostumista ja purkautumista. Malli kykenee myös simuloimaan eriasteisia liikennehäiriöitä määrätyillä linkeillä ja ohjaamaan liikenteen vaihtoehtoisille reiteille. Se sisältää toiminnot esim. muuttuvan opastuksen mallintamiseen ja vaikutusten selvittämiseen.

Moottoritien ohjausstrategioiden arviointi edellyttää menetelmiä viitoitukseen (tai muunlaiseen informaatioon) reagoivien ja reagoimattomien ajoneuvojen ryhmittelyyn ja sen mukaiseen reititykseen. MCONTRM:issa voidaan määritellä linkit, joilla yksittäiset ajoneuvot tai ajoneuvoryhmät saavat viestejä liikenteen tilasta. Sellaiset linkit voivat kuvata esim. opastimien paikkaa. Myös viestin lähettämisen ajankohta voidaan määritellä, joten ennakoimattomissa tapauksissa viesti voi tulla vasta jonkun ajan kuluttua häiriön alkamisesta ja suunnitelluissa tapauksissa voidaan antaa ennakkovaroituksia. Malli sallii viestiin reagoivien kuljettajien osuuden määrittämisen. MCONTRM:ia on

käytetty mm. Lontoo-Pariisi-korridorin muuttuvaa opastusta selvittäneessä PLEIADES-projektissa.

RGCONTRAM

Reittiopastuksen mallintamiseen on TRL:ssä kehitetty CONTRAMin pohjalta ROGUS-ohjelma. Southamptonin yliopistossa on samaan tarkoitukseen kehitetty myös CONTRAMista RGCONTRAM-malli. Painopisteenä on ollut kuljettajan käyttäytymisen ja järjestelmän dynaamisten osien mallintaminen. RGCONTRAMissa kuljettajat luokitellaan opastusmahdollisuuksien ja verkon tuntemuksen mukaan. Kukin kuljettajaluokka tekee sitten reitinvalintansa eri perusteilla. Sitä tarkistetaan reitin aikana käytettävissä olevan tiedon mukaan. RGCONTRAMia on käytetty mm. laajassa DRIVE-projektissa nimeltään LLAMD/MARGOT, jossa selvitettiin telematiikan soveltuvuutta Lontooseen, Lioniin, Amsterdamiin, Müncheniin ja Dubliniin, ja ROMANSE-projektissa Southamptonissa, jossa mallinnettiin ajantasaista informaatiota 300 aluetta ja 2300 linkkiä käsittäneellä mallilla.

DYNASMART (Hawas, Mahmassani 1995)

DYNASMART (DYnamic Network Assignment Simulation Model for Advanced Road Telematics) integroi liikennevirtamalleja, reitinmuodostusmetodologioita, käyttäytymissääntöjä ja informaationvälitysstrategioita simulointisijoitteluympäristössä. Simulointiohjelma liikuttaa ajoneuvoja diskreeteissä joukoissa tai makropartikkeleissa paikallisella vallitsevalla nopeudella, joka riippuu liikenteen makroskooppisista suhteista (muunnettu Greenshieldsin kaava). DYNASMARTin nykyisessä versiossa makropartikkelin koko on yksi ajoneuvo, mikä merkitsee yksittäisten ajoneuvojen liikkeen ja sijainnin tehokasta seuranta. Siinä ei kuitenkaan oteta huomioon mikroskooppisia yksityiskohtia tai vuorovaikutuksia kuten autonseuranta, sekoittumista, ohituksia jne. DYNASMARTia on käytetty mm. erilaisten opastusperiaatteiden tutkimiseen.

AVENUE (Horiguchi ym. 1995)

AVENUE (Advanced & Visual Evaluator for road Networks in Urban arEas) on kehitteillä oleva simulointiohjelma, joka pyrkii kuvaamaan yksityiskohtaisesti liikenneoloja alueella, joka käsittää kymmeniä liittymiä. Järjestelmään on tämän vuoksi liitettävä liikennevirran ja reitinvalintakäyttäytymisen lisäksi joitain mikroskooppisia ilmiöitä, kuten kaistanvaihtokäyttäytyminen ja kääntymiskaistojen täytyminen.

AVENUE simuloi kuljettajien reitinvalintakäyttäytymistä telematiikkaratkaisujen vaikutusten arvioimiseksi. Liikennevirtamalli pystyy kuvaamaan liikenteen toimintaa sekä yli- että alikuormittuneella verkolla.

Mallia on kehitetty validoinnissa saatujen kokemusten perusteella. Ohjelmaan on lisätty erilaisia reitinvalintamalleja ja laskenta-aikaa on lyhennetty.

PACSIM (Algers ym. 1996)

PACSIM on reitinvalintaohjelma, joka pystyy mallintamaan informaativirtaa järjestelmältä käyttäjälle. Se kehitettiin DRIVE-projekti IMAUOn yhteydessä

tavoitteena telematiikan ja käyttäytymisteoriaan perustuvien ratkaisujen vaikutusten arviointi. Kehitystyötä on jatkettu Belgian valtion rahoituksella.

Lähtöpaikka-määräpaikkamatriisi voidaan jakaa halutun mittaisiin ajanjaksoihin. Matkat jaetaan ryhmiin tai paketteihin, jolloin niillä on lähtö- ja määräpaikkaa lukuunottamatta seuraavat yhteiset ominaisuudet:

- matkan tarkoitus
- kulkutapa
- informaatiokanavien tavoitettavuus
- noudatetut käyttäytymissäännöt.

Liikenneverkon täydennykseksi muodostetaan informaatioverkko. Sillä on neljäntyyppisiä solmuja: tunnistimia, informaationhankintakeskuksia, informaationjakelukeskuksia ja liikenteenhallintakeskuksia, jotka edustavat liikenteenohjausperiaatteista vastaavia yksiköitä.

Paketit sijoitellaan liikenneverkolle. Niitä jaetaan ja yhdistetään matkan aikana määräpaikan mukaan.

Verkot esitetään vaikutusten korostamiseksi useissa tasoissa sen mukaan, miten kaukana määräpaikasta paketti sijaitsee. Paketit voivat olla eri tasoilla, mikä kuvaa niiden verkkotuntemusta ja informaationsaantia. Myös käsitys matkavastuksesta voi vaihdella.

Liikennetilanteet voidaan jähdyttää valittuun tilanteeseen ja simulointia voidaan jatkaa sen jälkeen uusilla lähtötiedoilla. Tämä mahdollistaa liikenteen häiriöiden mallintamisen.

Linkin välityskyvyn ylittyessä jonoja muodostuu seuraaville linkeille. Jonoja voi muodostua myös ohjattuihin liittymiin. PACSIMin nykyversio pystyy käsittelemään ainoastaan kiinteäohjauksisia liikennevaloja.

6 SIMULOINTIDEMONSTRAATIOT

6.1 Selvityksen yhteydessä tehdyt simulointidemonstraatiot

Tämän selvityksen yhteydessä talvella 1996-1997 tehtiin kolme simulointidemonstraatiota liikenteen telematiikan vaikutusten arvioimisen havainnollistamiseksi. Demonstraatiot olivat:

- **Automaattisen nopeuden ja ajoneuvovälin säädön vaikutus taajamaliikenteeseen**, tekijät lisäksi Kosonen ja Vesa Laakko, teknillisen korkeakoulun liikennelaboratorio, simulointiohjelmanä HUTSIM
- **Liikennevalojen vapaan oikean vaikutus Turunväylän ja Kehä I:n liittymässä**, tekijät Kari Sane, Jarkko Niittymäki ja Vesa Laakko, teknillisen korkeakoulun liikennelaboratorio, simulointiohjelmanä HUTSIM
- **Liikenneinformaation vaikutus Kehä I:n häiriötilanteessa**, tekijä Antero Karppinen, teknillisen korkeakoulun autolaboratorio, simulointiohjelmanä INTEGRATION.

Seuraavassa on demonstraatioiden lyhyt esittely.

6.2 Automaattisen nopeuden ja ajoneuvovälin säädön vaikutus taajamaliikenteeseen

6.2.1 Tausta

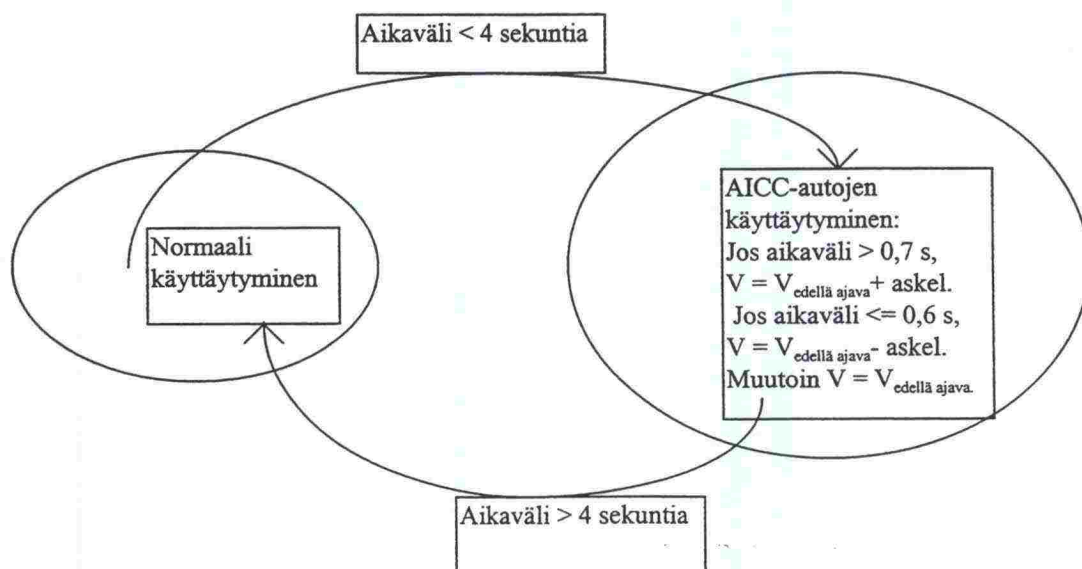
Ajamisen tukemisen simulointi

Henkilöauton kuljettaja on joskus puutteineen liikennejärjestelmän heikoin lenkki. Viime aikoina on alettu tutkia mahdollisuuksia siirtää auton kontrolli osittain pois sen kuljettajalta. Automaattinen autojen ohjausjärjestelmä avaa uusia mahdollisuuksien taajamaliikenteen ongelmien ratkaisuun. Erilaisten ohjaustapojen vaikutusten vertailu on kuitenkin perinteisillä tavoilla hankalaa. Nykyaikaisella mikrosimulointiohjelmalla vaikutuksia voidaan sen sijaan vertailla jopa yksittäisen ajoneuvon tarkkuudella.

HUTSIM-mikrosimulointiohjelmalla tarkasteltiin liikennetilannetta, jossa annettu prosentti autoista on varustettu automaattisella nopeuden ja ajoneuvovälin säätöjärjestelmällä (AICC). HUTSIMin rakennettiin AICC-autoille oma dynamiikka. AICC-autot noudattavat tarkasti annettua lyhyttä seuranta-aikaväliä, joten autot muodostavat ikään kuin "junia". AICC-autot noudattavat myös erityisiä nopeusrajoituksia sekä risteysalueilla että niiden ulkopuolella.

Automaattisen nopeuden ja ajoneuvovälin säädön toteutus

HUTSIMin normaaliin ajodynamiikkaan tehtiin muutoksia, jotka sallivat AICC-autojen erikoisen käyttäytymisen. Kun auton etäisyys edellä ajavaan on alle asetetun rajan (esim. 4 s) siirrytään HUTSIMin normaaleista ajosäännöistä AICC-autojen käyttäytymissääntöihin (kuva 8).



Kuva 8. AICC-autojen säännöt.

Jos aikaväli on suurempi kuin seuranta-aikaväli (0,7 s) ajoneuvon nopeus asetetaan askelta suuremmaksi kuin edellä ajavan. Kun ajoneuvon aikaväli edellä ajavaan on 0,1 sekunnin tarkkuudella 0,7 sekuntia ajoneuvon nopeus

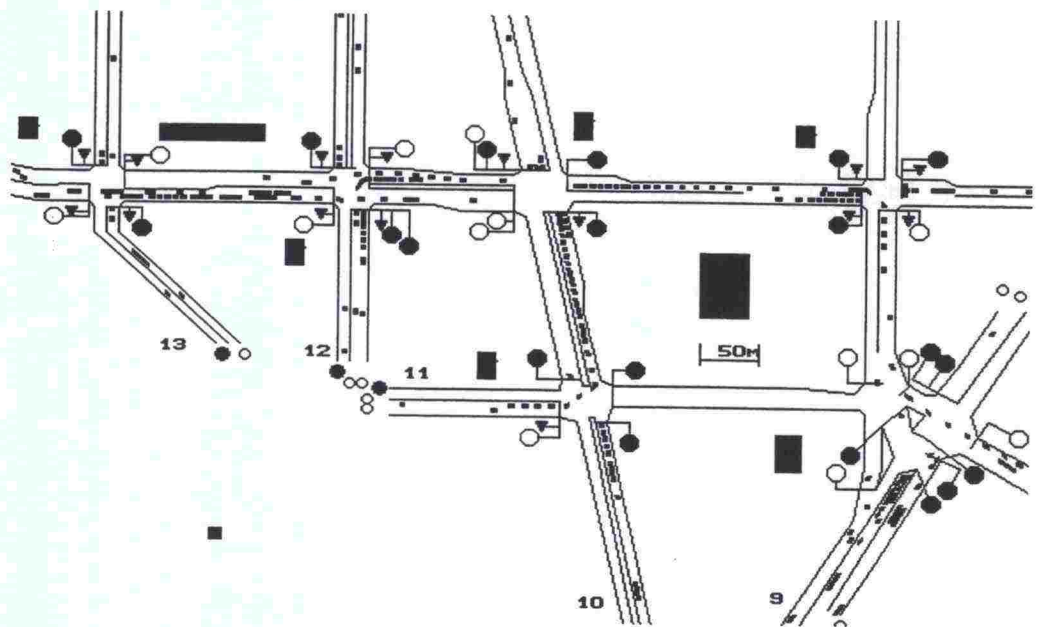
lukitaan samaksi kuin edellä ajavan. Jos aikaväli menee liian pieneksi, takana tulevan nopeutta lasketaan yhden nopeusasteleeseen verran.

AICC-autot noudattavat lisäksi omia paikallisia nopeusrajoituksia, jotka ovat voimassa risteysalueilla. Tämän takia AICC-autot joutuvat joskus irrottautumaan seurantatilasta. Tällöin niiden ajokäyttäytyminen palautuu normaaliksi HUTSIM-kalibroiduksi käyttäytymiseksi. AICC-autojen pysähtymisetaisyydet ovat lisäksi lyhyemmät.

6.2.2 Göteborgin demomalli

Mallin rakennus

Tutkimuksessa käytettiin valmista TFK:n rakentamaa Göteborgin taajama-alueen mallia. Tutkimusta varten muokattiin HUTSIM-simulointimallia (kuva 9). Simulointimalliin lisättiin vain AICC-autoja koskevat erityiset nopeusrajoitusmerkit, jotka eivät vaikuta normaaleihin ajoneuvoihin. Liikennemäärät ja ajoneuvotyyppijakaumat muokattiin tutkimukseen sopiviksi. HUTSIM-malliin lisättiin oma ajoneuvotyyppinsä AICC-autoille.



Kuva 9. Göteborgin malli

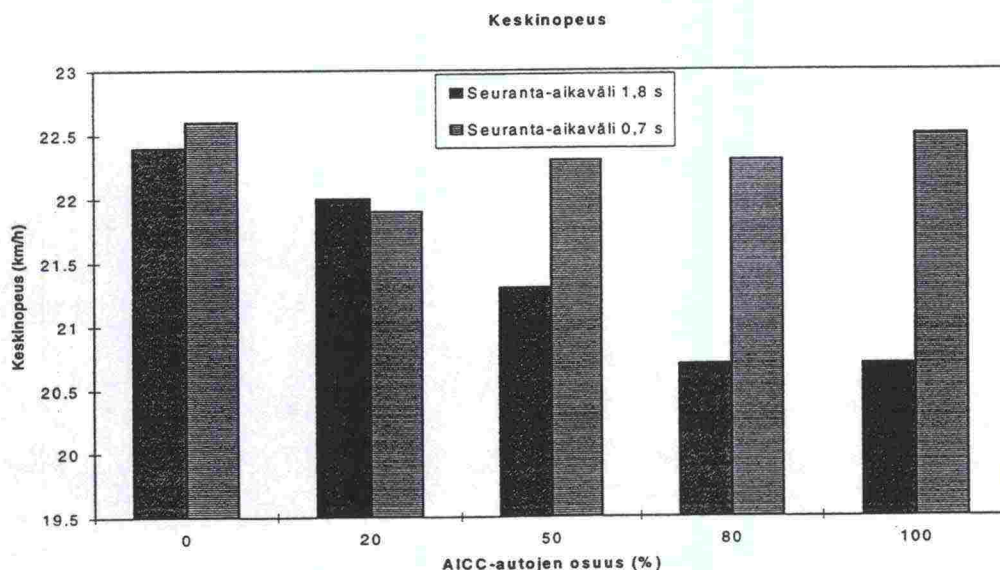
Simulointiajot

Simulointiajot suoritettiin TFK:lla Ruotsissa vuosien 1996 - 1997 vaihteessa. Simuloinneissa tutkittiin kahta eri perustapausta (A ja B), joissa AICC-autojen seuranta-aikavälit ja nopeusrajoitukset poikkesivat toisistaan. A tapauksessa nettoaikaväli oli 1,8 s ja nopeusrajoitus 30 km/h risteysalueella (50 km/h muualla). Tapauksessa B vastaavat arvot olivat 0,7 s, 25 km/h ja 40 km/h.

Kummassakin tapauksessa simuloitiin neljä tilannetta, joissa AICC-autojen osuudet olivat 0 %, 20 %, 50 % ja 80 %.

Kokemukset ja tulokset

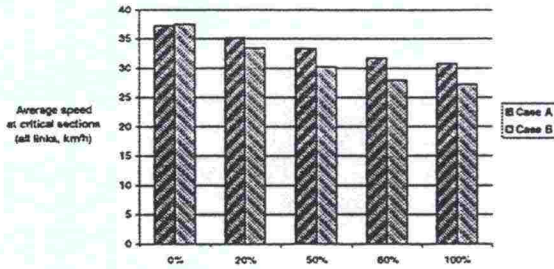
Päällisin puolin malli näyttää toimivan hyvin. AICC-autot lukittuvat seurantatilaan ja säilyttävät annetun nettoaikavälin 0,05 sekunnin marginaalilla. Nopeusrajoituksen tai liikennevalojen vuoksi AICC-auto voi irrottautua seurantatilasta. Pienillä seuranta-aikaväleillä (0,7 s) välityskyky luonnollisesti kasvaa ja matka-ajat pienenevät (kuva 10). Silmämääräisesti arvioiden näyttää kuitenkin siltä, että liikennevirta häiriytyy herkemmin, koska AICC-autot reagoivat miltei välittömästi nopeuden muutoksiin ja näin ollen muutokset siirtyvät jonossa nopeasti taaksepäin. HUTSIMin mikrosimulointimalli vaikuttaa soveltuvan hyvin AICC-järjestelmän toiminnan arviointiin. Kuvassa 11 on esitetty Ruotsissa tehtyjen simulointiajojen alustavia tuloksia ja johtopäätöksiä (Davidsson 1997, DYNAMIT-I-projekti).



Kuva 10. Keskinopeus eri AICC-autojen osuuksilla seuranta-aikaväleillä 1,8 s ja 0,7 s.

TK

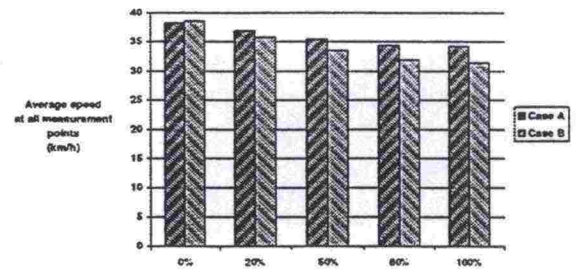
Medelhastigheter vid passage av korsning



DYNAMIT

TK

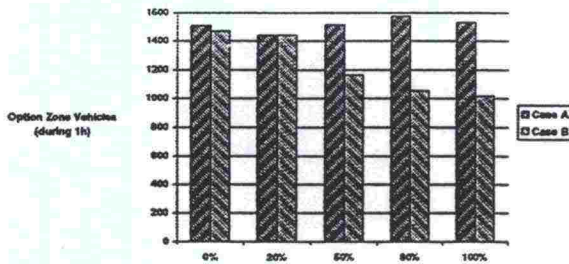
Medelhastigheter i alla mätpunkter



DYNAMIT

TK

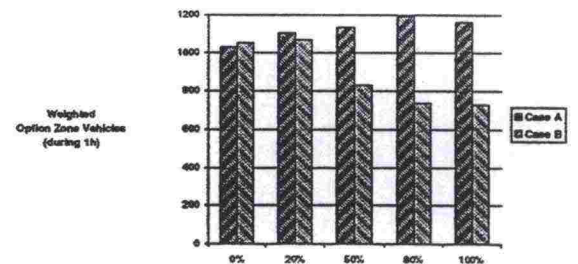
Rödkömingssituationer ("nyrött")



DYNAMIT

TK

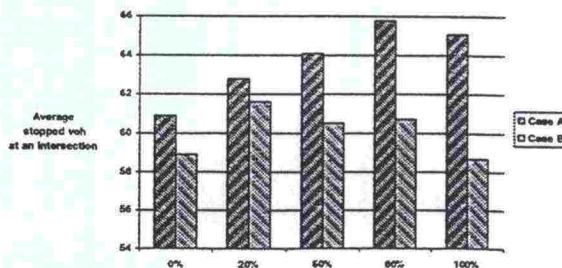
Situationer som kan ge upphinnandeolycka



DYNAMIT

TK

Andelen stoppade fordon i korsningarna



DYNAMIT

TK

Slutsatser

- Mikrosimulering ett kostnadseffektivt sätt att utvärdera vissa trafikala effekter
- Reshastigheten minskar med knappt 10% vid full implementering av traditionell ICC
- Smarta trafiksignaler eller korta avstånd mellan fordon tar bort restidsförlusten (vad är bäst?)
- Andelen fria fordon minskar ej (?)
- Ytterligare studier bör inriktas mot oskyddade trafikanter riskexponeringen

DYNAMIT

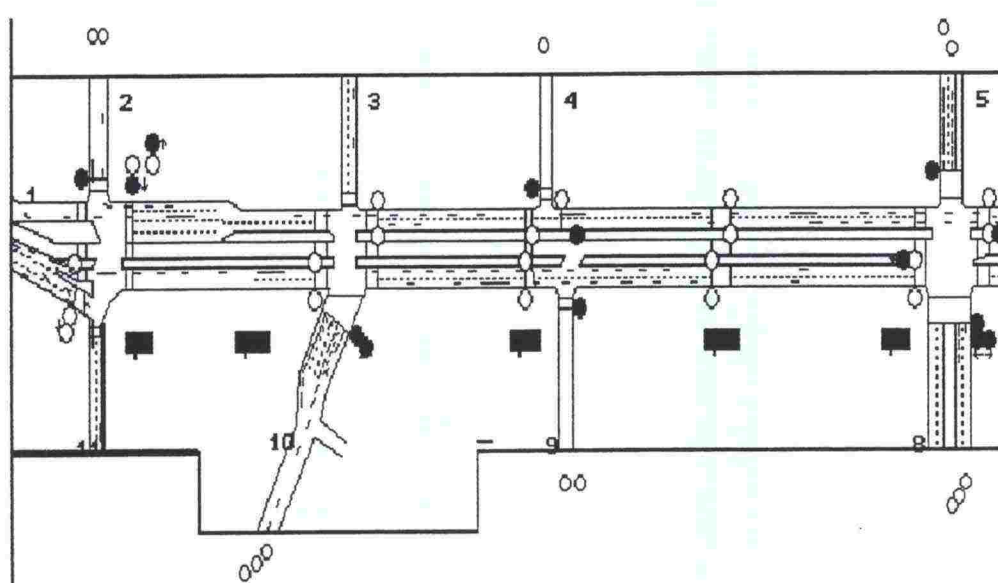
Kuva 11.

Automaattisen nopeuden ja ajoneuvovälin säädön vaikutus eri AICC-autojen osuuksilla Göteborgin demomallissa.

6.2.3 Helsingin Mannerheimintien malli

Simulointimalli

Simuloinneilla pyrittiin selvittämään AICC-autojen osuuden vaikutusta liikennevirran kulkuun. Kohdemalliksi valittiin HUTSIMin mallikirjaston Mannerheimintien keskustaosuutta kuvaavaa malli (kuva 12). Tämä malli on kokonsa puolesta sopiva tutkittaessa AICC-autojen vaikutusta liikenteen makrotunnuslukuihin. Samoin kuin Göteborgin tapauksessa, malliin lisättiin AICC-autoja koskevat risteysalueiden nopeakrajoitukset.

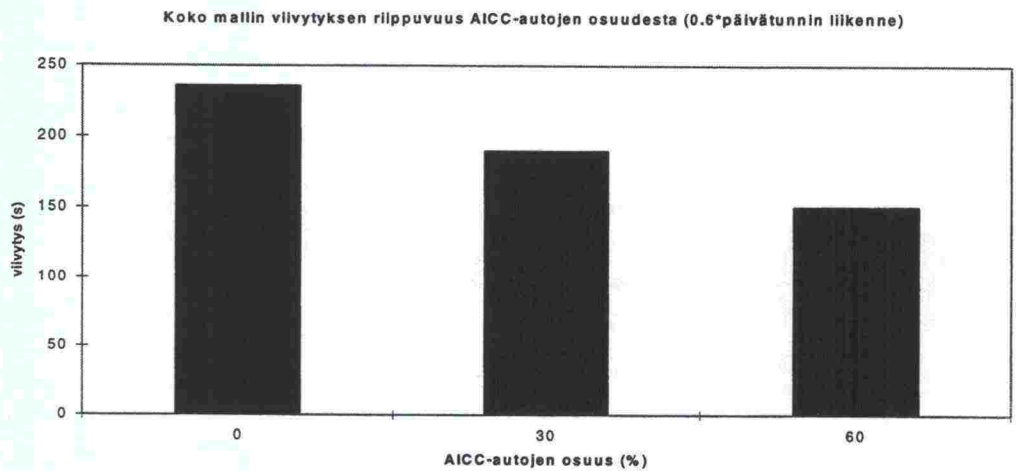


Kuva 12. Mannerheimintien simulointimalli.

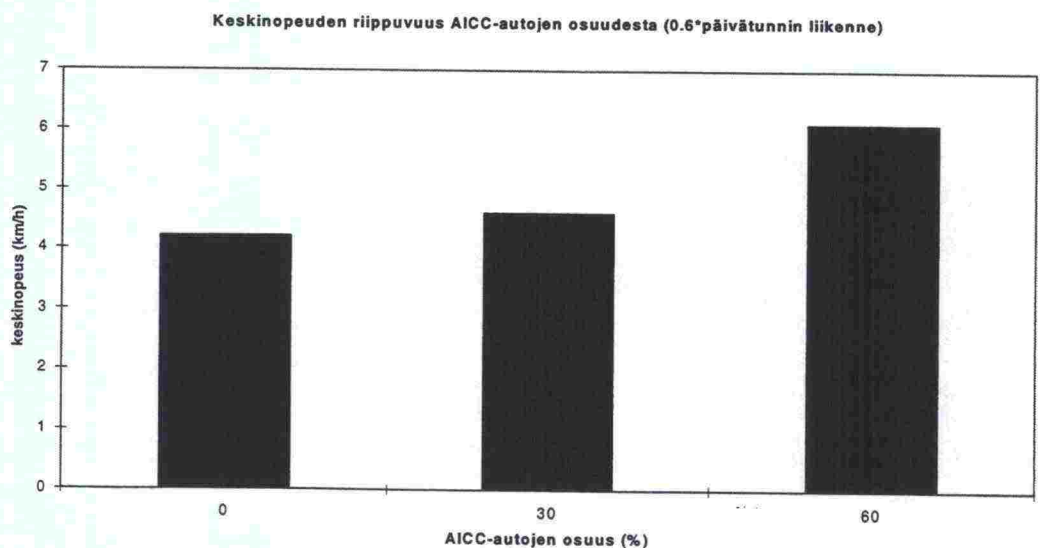
Simulointeja tehtiin erilaisilla AICC-autojen osuuksilla. Osuudet olivat 0 %, 30 % ja 60 %. Mallin liikennemäärät ovat 60 % päivätunnin liikenteestä. Simulointiajaksi valittiin kaksi tuntia, jotta autojen tulohetkien satunnaisuus ei vaikuttaisi tuloksiin.

Tulokset

AICC-autot vaikuttavat selvimmin kokonaisviivytyksiin. Viivytykset pienenevät 36 % normaalitilanteeseen verrattuna, jos AICC-autojen osuutta lisätään 60 %:iin (kuva 13). Vastaava muutosvaikutus on havaittavissa liikennevirran keskinopeuden kohdalla (kuva 14). Vaikutus ei ole kuitenkaan vielä 30 %:n osuudella merkittävä. Malli on hyvin ruuhkainen, joten viivytykset ovat suuria ja keskinopeudet siitä johtuen erittäin alhaisia.



Kuva 13. Viivytyksen riippuvuus AICC-autojen osuudesta.



Kuva 14. Keskinopeuden riippuvuus AICC-autojen osuudesta.

Johtopäätökset

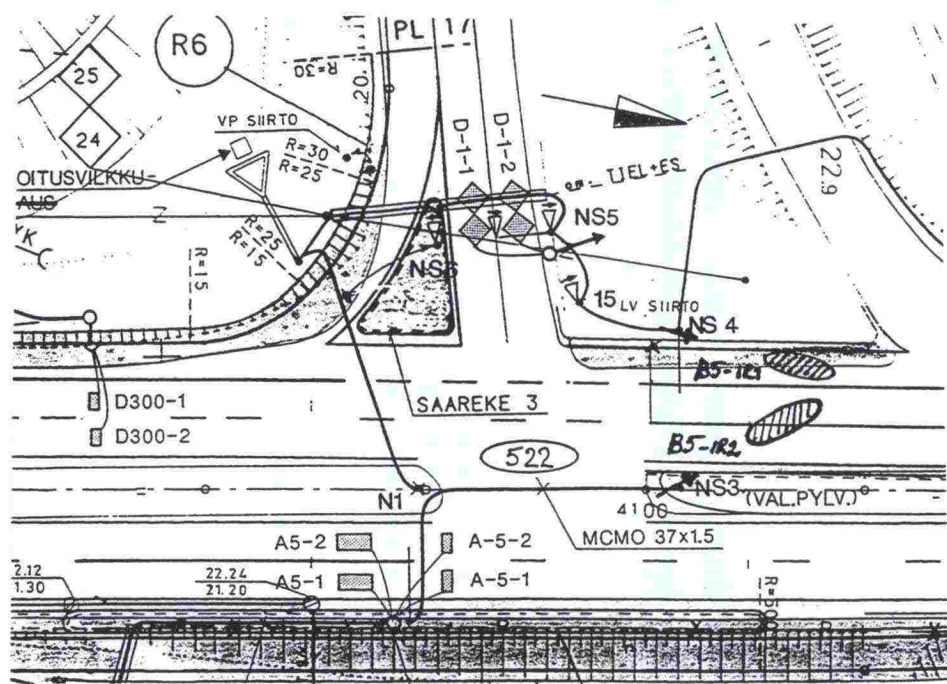
Tulokset ovat ennakkoarvailujen mukaiset. AICC-autojen pienen seuranta-aikavälin ansiosta väylien välityskyky kasvaa, mikä kasvattaa liikennevirran keskinopeutta ruuhkatilanteissa. Vaikutus näyttäisi muuttuvan epälineaarisesti. Ilmeisesti suurehko AICC-autojen osuus parantaa myös tavallisten autojen keskinopeutta.

6.3 Liikennevalojen vapaa oikean vaikutus Turunväylän ja Kehä I:n liittymässä

6.3.1 Lähtökohta

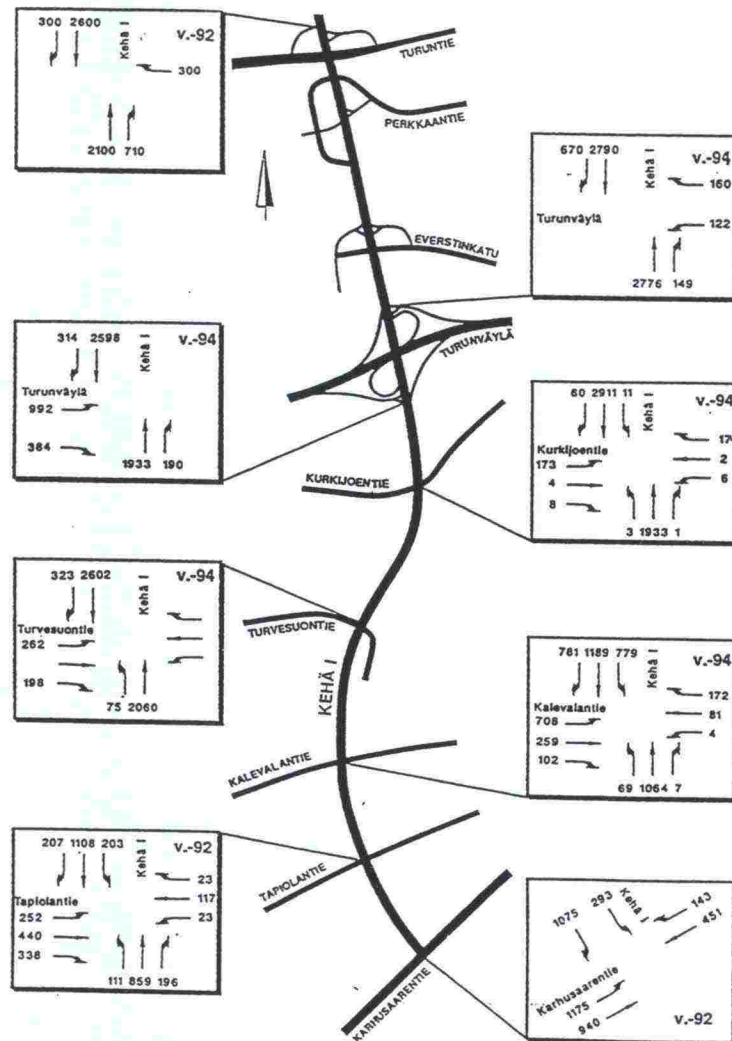
Liikennevalojen vapaa oikea sallii oikealle kääntyvän liikenteen sujumisen ilman valo-ohjausta. Oikealle kääntyvien viivytyksiä voidaan näin oleellisesti pienentää. Järjestely edellyttää kohtuullisen pieniä oikealle kääntyvien liikennemääriä ja siitä syystä vapaa oikea -ohjausta onkin käytetty alempi-luokkaisilla teillä. Näissäkin toteutuksissa liikennevaloasetus sallii vain tapauksen, jossa vapaa oikea -haaralla ei ole suojatietä. Korkealuokkaisilla väylillä ratkaisu on vähemmän käytetty.

Tielaitos on rakentanut Turunväylän ja Kehä I:n eteläiseen liittymään vapaa oikea -ohjauksen (kuva 15). Liittymän valo-ohjauskoje on kytketty yhteen sekä pohjoisen liittymän että Kurkijoentien liittymän kojeiden kanssa. Tapiolan suuntaan vihreän aallon välityskyky on 2400 ajoneuvoa/h. Aamuruuhkatunnin aikana ollaan lähellä valo-ohjauksen kapasiteettia (kuva 16).



Kuva 15. Vapaa oikea -järjestely Turunväylän-Kehä I:n eteläisessä liittymässä.

Ympäristö on sikäli ongelmallinen, että kiihdytyskaistana toimiva bussikaistan osa päättyy runsaat 100 metriä liittymän jälkeen. Kiihdytyskaistan lyhyys pakottaa Tapiolan suuntaan kääntyneet liittymään hyvin ahtaisiin pääliikennevirran väleihin. Tämä aiheuttaa lisäviivytyksiä suoraan ajavalle virralle. Vaikka kääntyvän liikenteen määrä pysyy kohtuullisena (n. 400 ajon/h), on tilanne epästabiili, koska ollaan lähellä suoraan ajavan virran vihreän aallon kapasiteettirajaa. Tästä syystä häiriöt vapaan oikean virran liittymiskaistalla aiheuttavat laajemmalle ulottuvia ongelmia liikennevirrassa usean liittymävälin matkalla. Ongelmat ovat sekä turvallisuus- että viivytysongelmia.



Kuva 16. Aamuruuhkan liikennemäärät Kehä I:llä.

6.3.2 Tavoitteet

Simuloinnin avulla pyritään mallintamaan nykyinen tilanne mahdollisimman todenmukaisesti. Samoin mallitetaan konventionaalisella valo-ohjauksella varustetun liittymän liikenne. Riippuen konventionaalisen ja vapaa-oikea järjestelmän eroista, pyritään selvittämään sekajärjestelmän toimivuutta. Sekajärjestelmässä suurin osa vuorokauden ajasta ohjaus toimisi vapaa-oikea järjestelmänä, mutta ruuhka-aikana käytettäisiin konventionaalista ohjausta myös oikealle Tapiolaan kääntyvällä kaistalla.

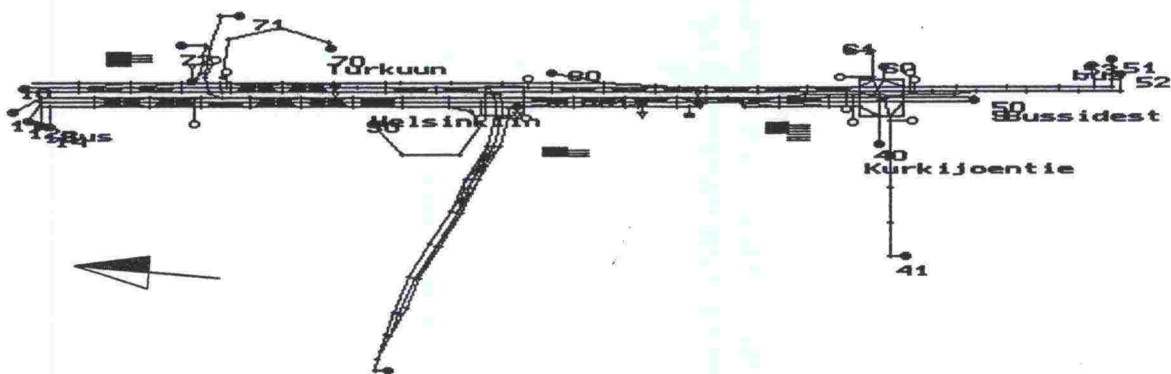
6.3.3 Simulointimalli

Kukin ohjausjärjestelmä mallitettiin HUTEDI-mallieditorilla. Mallit rakennettiin kolmen liittymän matkalta alkaen Turunväylän ja Kehä I:n pohjoisesta liittymästä. Malli päättyy eteläisessä suunnassa Kurkijoentien liittymään. Turunväylältä nouseva ramppi Tapiolan suuntaan mallitettiin koko pituudessaan.

Eri ohjausjärjestelmien vertailuun käytettiin HUTSIM-simulaattoriohjelmaa. Ohjelma on kalibroitu lähinnä valo-ohjatun risteyksen liikenneympäristöön sopivaksi. Tutkittavassa kohteessa on myös huomattavia osia korkealuokkaisia väyläosuuksia, joiden mallintamisesta haluttiin samalla kokemuksia.

Järjestelmien vertailusuureina käytetään simulointiohjelman raporttitiedostoon laskemia viivytys- ja kaistanvaihtotietoja.

Mallin fyysisten osien mitat selvitettiin kartoista. Mallin vaatimat parametrit, kuten liikennemäärät ja nopeusrajoitukset selvitettiin kenttämittauksilla ja -käynneillä. HUTSIMin käyttämä ajodynamiikkamalli on kalibroitu jo aiemmin kenttämittauksin. Mallin rakentamisessa pyrittiin todenmukaisuuteen. Fyysisten mittojen kanssa tämä vaatimus on helppo toteuttaa (kuva 17).



Kuva 17. Turunväylän-Kehä I:n liittymän simulointimalli.

Valo-ohjausparametrien saaminen on sensijaan vaikeampaa nykyisessä ohjelmaversiossa. Vaikeudet johtuvat HUTSIMin sisäisen valo-ohjauskojeen ominaisuuksista. Sisäisessä kojeessa ei ole mahdollisuutta toteuttaa liikennetieto-ohjattua kojeiden yhteenkytkentää. Vaikka todellisuudessa väylille on sijoitettu ilmaisimia, jotka vaikuttavat valo-ohjaukseen, ei nyt rakennetussa mallissa asia ole näin vaan malliin rakennettu ohjaus toimii puhtaasti aikaohjattuna. Ratkaisu ei kuitenkaan poikkea todellisuudesta, sillä ruuhkatilanteissa ainakin ruuhkasuunnan pidennykset käytettäisiin maksimaalisina.

Joka tapauksessa valo-ohjaus toteutettiin normaalien aikaohjattujen valojen suunnitteluohjeita noudattaen. Yhteenkytkentä toteutettiin siten, että kojeiden kiertoaikalaskureille asetettiin sopiva offset-aika. Offset-aika on se aika, jonka verran slave-koje on edellä master-kojetta. Slave-koje toimii nimensä mukaisesti master-kojeen ohjauksessa; tässä tilanteessa ohjaus on tosin vain kiertoaikalaskureiden offset-ajan ylläpito. Master-koje huolehtii slave-kojeen edelläolosta.

6.3.4 Mallin oikeellisuus

Mallin validointi tehtiin koeajoilla. Suurin ongelma-alue oli kaistanvaihtoalueiden määrittäminen. Kaistanvaihtoa ei voi asettaa mahdolliseksi kaikkialla siellä, missä se olisi laillista. Tämä johtaa tarpeettomiin kaistanvaihtoihin, jotka liiaksi hidastavat liikennettä. Tässä suhteessa parempi ratkaisu on sallia kaistanvaihto vain siellä, missä se on todella tarpeellista.

Toinen ongelma liittyy tutkimusasetelmaan. Usein halutaan tutkia keinotekoisia ylikuormitustilanteita. Jos malli on validi kuormituksella 1,0 on se validi usein myös kuormituksella 1,2. Ylikuormitustilanteessa tulostuva raportti voi kuitenkin olla harhaanjohtava, jos jonot ulottuvat ajoneuvogeneraattoreihin saakka. Ajoneuvogeneraattori tuottaa kaistallensa halutun ajoneuvomäärän. Ajoneuvogeneraattorin tuottama ajoneuvomäärä ja aikavälijakauma voidaan asettaa kenttämittausten mukaisiksi.

Generaattorit tulisi aina asettaa sellaisiin paikkoihin, joihin ei missään tilanteessa kenttämittausten aikana synny jonoa. Mikäli näin on asianlaita, tulee vielä erikseen koesimuloinneilla varmistaa, ettei myöskään ylikuormitustilanteissa pääse syntymään tätä tilannetta.

6.3.5 Koeasetelma ja tuotantoajojen tulokset

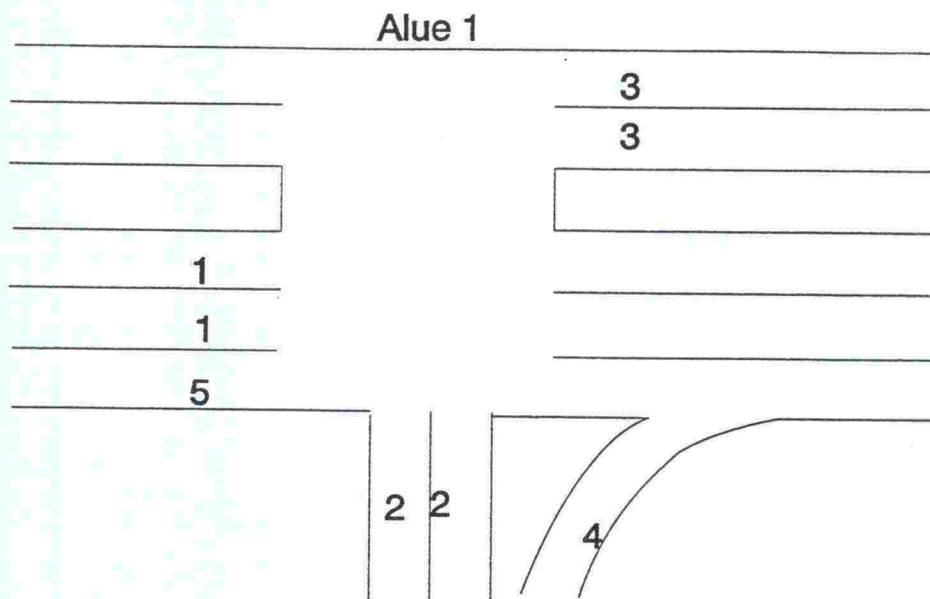
Sekä nykyisen tilanteen mallia että konventionaalisen valo-ohjauksen mallia ajettiin kuormitustasoilla 0,5, 0,9, 1,0, 1,05, 1,1, 1,15 ja 1,2. Kuormitustason 1,0 liikenne vastaa aamuruuhkatunnin liikennettä. Ylikuormitustasoilla suoritettiin tuotantoajoja, jotta saataisiin selville kuormitustaso, jolla vapaa oikea-järjestelyn viivytykset tulisivat tavanomaisen järjestelyn viivytyksiä suuremmiksi. Näin ei kuitenkaan käynyt.

1. Koko systeemin viivytykset ovat kaikilla järkevillä kuormituksilla vapaa-oikea järjestelmässä pienemmät (kuva 19).

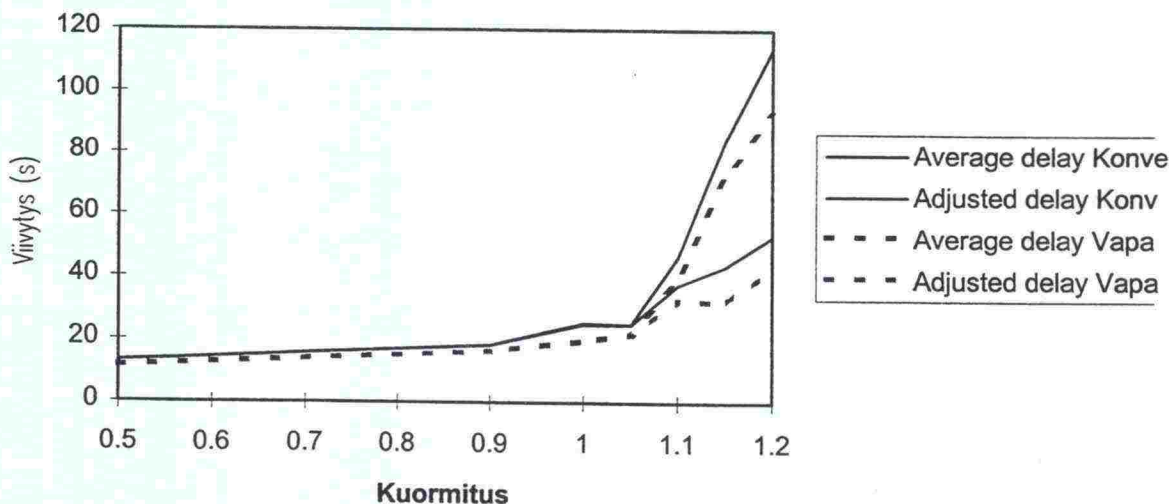
Turunväylän eteläisen liittymän Tapiolaan kääntyvän liikennevirran viivytykset ovat luonnollisesti suuremmat konventionaalisella ohjauksella. Ennakko-odotusten vastaisesti myös suoraan menevän virran viivytykset ovat tavanomaisessa ratkaisussa suuremmat (taulukko 4, kuva 18).

Taulukko 4. Koko systeemin ja alueen 1 viivytykset eri kuormitustasoilla.

Vapaa/Konvent. 0,5		All	All	Alue 1		1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
Group Numbers		Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.
Vehicle Count		8899	8832	1252	1229	482	511	1126	1107	211	195	23	32		
Average Delay		11.5	13.1	11.5	12.3	58	57.2	13.7	13.9	10.7	51	41.5	42.9		
Adjusted Delay		11.4	13	11.6	12.4	57.1	56.3	13.8	14	9.2	49.4	41.5	43		
Stopped Veh. %		22.6	25.9	26	27.7	74.3	73.6	30	30.8	10.9	71.8	100	93.8		
Lane Switch %		57.5	55.7	54.8	52.8	81.7	78.1	58.3	56.3	100	100	0	0		
Vapaa /Konvent. 0,9		All	All	Alue 1		1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
Group Numbers		Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.
Vehicle Count		15512	15622	2190	2195	867	887	1971	1986	346	355	26	32		
Average Delay		16.5	18.4	19.8	21.6	68.2	69.3	19.5	19.3	24.4	63.2	67.6	68.8		
Adjusted Delay		16.4	18.3	19.9	21.7	67.4	68.5	19.6	19.4	22.8	61.7	67.7	68.9		
Stopped Veh. %		27.5	29.9	35.7	36.2	83.6	85.8	35.6	34.5	42.2	81.7	96.2	96.9		
Lane Switch %		38.2	39.5	29.2	29.6	67.8	68.1	36.2	39.5	100	100	0	0		
Vapaa/Konvent. 1,0		All	All	Alue 1		1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
Group Numbers		Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.
Vehicle Count		17363	17418	2434	2471	943	924	2212	2204	394	422	40	48		
Average Delay		19.9	25.5	22	25.7	74.9	72.2	25.4	24.4	29.5	67.4	77.1	85.9		
Adjusted Delay		19.8	24.9	22.1	25.8	74.1	71.4	25.5	24.5	27.9	65.8	77.2	85.9		
Stopped Veh. %		30.1	36.4	35.4	37.9	89.6	88.2	39.3	38.5	46.7	82.9	100	97.9		
Lane Switch %		31.7	30.4	22.3	18.5	66	67.4	26.8	28.1	100	100	0	0		
Vapaa/Konvent. 1.05		All	All	Alue 1		1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
Group Numbers		Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.
Vehicle Count		17999	18007	2540	2552	1006	1011	2244	2248	394	425	42	41		
Average Delay		21.8	24.9	21.1	25.9	80.6	76.4	28.6	28.7	33.8	66	110.1	81.6		
Adjusted Delay		21.7	24.8	21.2	26	79.8	75.6	28.7	28.8	32.2	64.4	110.2	81.7		
Stopped Veh. %		30.9	36.2	32.9	37.3	92.5	90.2	38.3	39.6	53.8	83.1	100	97.6		
Lane Switch %		28.2	27	16.9	15.4	63.6	60.3	23.8	22.5	100	100	0	0		
Vapaa/Konvent. 1,1		All	All	Alue 1		1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
Group Numbers		Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.
Vehicle Count		18935	18921	2685	2645	1059	1036	2357	2405	394	459	36	38		
Average Delay		39.3	46.4	24.5	28.5	94.4	89.2	38	38.5	33.4	62.1	91.8	86.1		
Adjusted Delay		32.7	37.5	24.4	28.5	93.7	88.5	37	38.5	31.9	60.5	91.9	86.2		
Stopped Veh. %		39.4	43.3	34.4	37.8	97	94.7	40.6	40.2	47.5	79.7	100	94.7		
Lane Switch %		22.2	23.2	11.8	11.9	58.8	59.3	14.2	17.4	100	100	0	0		
Vapaa/Konvent. 1,15		All	All	Alue 1		1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
Group Numbers		Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.
Vehicle Count		19142	19168	2797	2571	881	1041	2473	2504	365	470	50	35		
Average Delay		72.9	84.3	25.5	35.7	442.9	86.3	33.7	41.7	445.4	68.1	95.3	77.6		
Adjusted Delay		32	43.4	25.2	32.2	89.3	85.5	31.2	38	37.6	66.5	95.4	77.7		
Stopped Veh. %		38.4	44.7	37.9	40.5	83.9	94.8	39.7	40.5	55.9	86	100	97.1		
Lane Switch %		22.4	23.1	13.5	16.9	65	58.6	16.3	10.3	100	100	0	0		
Vapaa/Konvent. 1,2		All	All	Alue 1		1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
Group Numbers		Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.	Vapaa	Konvent.
Vehicle Count		19625	19565	2660	2655	1121	1098	2499	2513	470	463	34	45		
Average Delay		93.2	114.2	27.2	31.8	106.9	132.4	47.3	45.9	34.6	68	89.9	97.6		
Adjusted Delay		43	53.3	26.6	30.7	106.1	131.7	39.3	39	33	66.4	90	97.7		
Stopped Veh. %		42.6	47.2	37	40	98	99.5	40.1	39.4	50.4	86.4	100	100		
Lane Switch %		22.3	20	15.3	14	51.6	41.3	13.1	11	100	100	0	0		



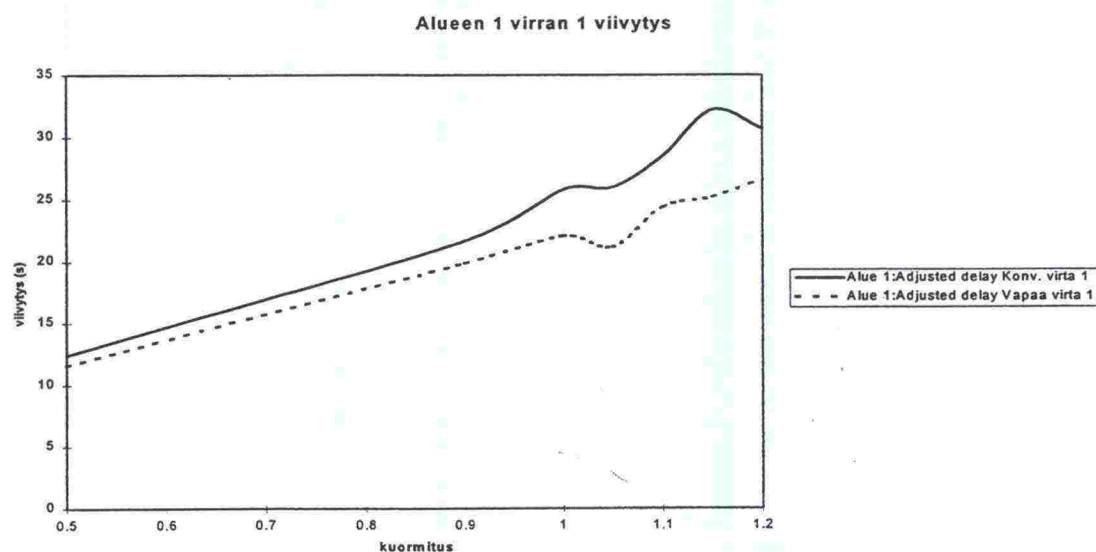
Kuva 18. Alueen 1 liikennevirrat Turunväylän - Kehä I:n eteläisessä liittymässä.



Kuva 19. Kuormituksen vaikutus viivytykseen koko mallissa.

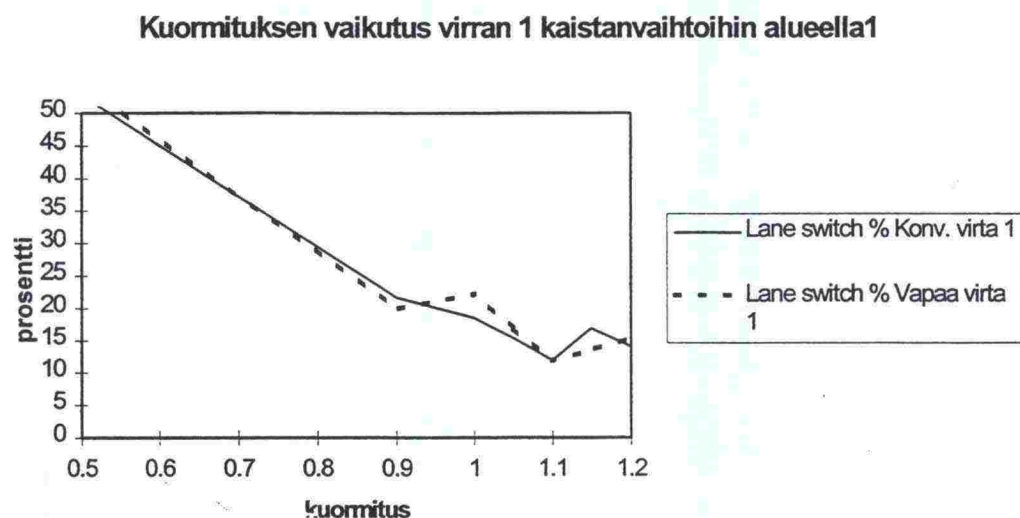
2. Vapaa oikea -ohjaus ei lisää suoraan ajavan liikennevirran viivytyksiä (kuva 20).

Tätä odottamatonta tulosta voisi selittää sillä, että konventionaalisessa valo-ohjauksessa eteläisestä liittymästä oikealle kääntyvä liikennevirta jää tulpaksi Kurkijoentien liittymään ja vaikeuttaa vihreän aallon toteutumista. Vaikka vapaa oikea -järjestelmä aiheuttaa suoraan ajavalle liikennevirralle viivytystä, kohdistuvat ne kuitenkin pienelle liikennemäärälle. Konventionaalisessa järjestelmässä viivytykset kokee koko liikennevirta.



Kuva 20. Kuormituksen vaikutus alueen 1 liikennevirtaan 1.

Saman liittymän Tapiolan suuntaan menevän liikennevirran kaistanvaihtoprosentti on vapaa oikea -järjestelmässä suurempi. Tämä lienee osoitus vapaa oikea -järjestelmän aiheuttamasta turvallisuushaitasta (kuva 21).



Kuva 21. Kuormituksen vaikutus kaistanvaihtoihin alueella 1.

6.3.6 Kokemuksia suuren alueen simuloinnista

HUTSIM-ohjelmaa käytettiin nyt ensimmäistä kertaa suurehkon korkealuokkaisen väyläympäristön tutkimiseen. Kokemuksena voidaan sanoa, että HUTSIM tarjoaa erittäin monipuoliset työkalut myös ko. liikenneympäristön tutkimiseen. Vaaraan on kuitenkin vain vaaksan matka, jos näitä tehokkaita työkaluja käytetään väärin.

Eräs yksittäinen ongelma on reittitaulujen oikea täyttö. HUTSIMin mittapuun mukaan suurehkoissa verkossa voi olla hankala saada täsmäämään jollekin kaistalle tuleva liikenne todellisten liikennemäärien kanssa. Tämä pieni puute johtuu varmaankin siitä, että HUTSIM on alunperin suunniteltu pienemmille liikenneverkoille. Kaistaputkien reittitaulujen täyttäminen tulee hankalaksi, josta reittivaihtoehtoja on useampia.

Kaikkia tietokoneohjelmia vaivaa yleensä sama ongelma, kuinka tehdä käyttöliittymä helppokäyttöiseksi, mutta samalla sellaiseksi, että ohjelman kaikki hienoudet ovat käytettävissä. HUTSIMista voisi sanoa, että se on asiantuntijan tehokas työkalu, mutta vain asiantuntijan.

6.4 Liikenneinformaation vaikutus Kehä I:n häiriötilanteessa

6.4.1 Tutkimuskohde

Tässä demonstraatiossa tutkittiin muuttuvien opasteiden ja dynaamisella reitinvalintajärjestelmällä varustettujen ajoneuvojen vaikutusta pääkaupunkiseudun liikenteeseen aamuruuhkassa aiheutuvassa häiriötilanteessa.

6.4.2 Käytetty ohjelmisto ja verkko

INTEGRATION-simulointiohjelmisto

Tutkimuksessa käytetty INTEGRATION-ohjelmisto soveltuu liikenneinformaation vaikutusten analysointiin mikroskooppisen ja dynaamisen luonteensa vuoksi. Eri ajoneuvoluokkien avulla mallinnetaan taustaliikenne, dynaamisella reitinvalintajärjestelmällä varustetut autot sekä muut, kuten joukkoliikenteen, ajoneuvot.

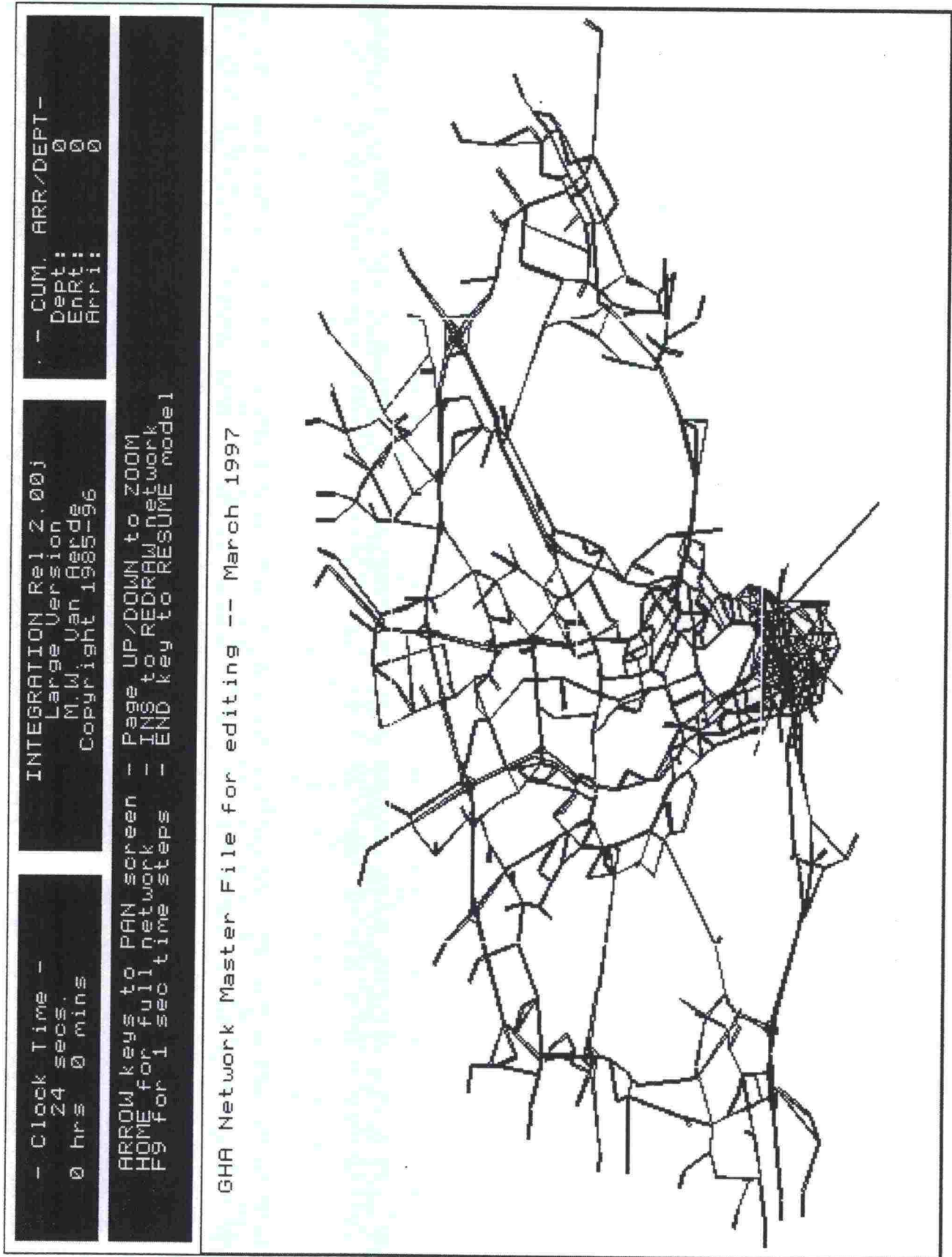
Ohjelmalle annetaan lähtötietoina tutkittavan verkon geometria solmuina ja linkkeinä, kysyntä, liikennevalojen ajoitus sekä häiriötilanteen kuvaus. Linkkien liikenteelliset ominaisuudet (kaistojen määrä, kapasiteetti, vapaa nopeus, nopeus kapasiteettipisteessä jne.) vaikuttavat linkkien laskettuihin ajoaikoihin, jotka määräävät dynaamisella reitinvalinnalla varustettujen autojen reitit.

Taustaliikenteelle tehdään yleensä Frank-Wolfen-algoritmiin perustuva tasapainosijoittelu ennen simuloinnin alkamista. Simuloinnin aluksi lähtö- ja kohdealueiden välinen tuntikysyntä muutetaan yksittäisten ajoneuvojen lähdöiksi. Ajoneuvojen kulku on määritetty reittipuiden muodossa. Linkkien ajoaikojen jatkuva päivitys mahdollistaa ruuhkautumisen käsittelyn, joten myös taustaliikenne voi reagoida olosuhteiden muutoksiin, mikäli sijoittelu toistetaan simuloinnin aikana.

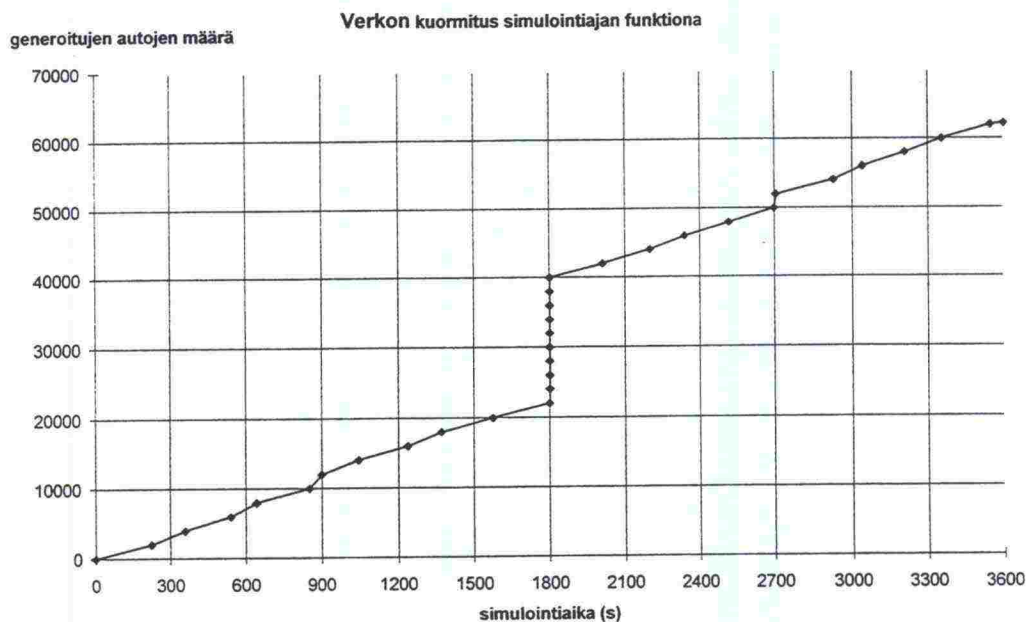
Pääkaupunkiseudun verkkomalli

Verkkomalli (kuva 22) on käännetty TKK:n liikennelaboratorion toimittamasta EMME/2-aineistosta. Aineisto kuvaa vuoden 1988 pääkaupunkiseudun verkkoa. Aineistoa päivitettiin ja tarkennettiin käännöksen jälkeen. Oleellinen ero EMME:n ja INTEGRATIONin välillä on siinä, että INTEGRATION on simulointiohjelma, joka mallintaa yksittäisiä ajoneuvoja. Tämän vuoksi liittymissä on oltava oikea määrä kaistoja ja rampeja, jotta autot voivat siirtyä linkiltä toiselle mahdollisimman todenmukaisesti ryhmittäen, jarruttaen ja kiihdyttäen. Tämän vuoksi esimerkiksi kaikki Kehä I:n ja muiden teiden liittymät on mallinnettu uudestaan.

Käytetty kysyntämatriisi on YTV:n aineistoa vuodelta 1994. Matriisi kuvaa aamun huipputunnin autoliikenteen kysynnän, joka tuottaa INTEGRATIONissa 62 222 ajoneuvoa. Liikenne generoidaan malliin kuvassa 23 esitetyllä tavalla.



Kuva 22. Tutkittu verkko, INTEGRATIONin grafiikkatulostus



Kuva 23. Verkoon generoitujen ajoneuvojen määrä simulointiajan funktiona.

Liikenneinformaatiojärjestelmien mallintaminen

Mallissa on käytetty viidestä mahdollisesta ajoneuvoluokasta kahta. Taustaliikenne muodostaa luokan 1 ja dynaamisella reitinvalintajärjestelmällä varustetut ajoneuvot luokan 2. Joukkoliikennettä ei mallinnettu.

Taustaliikenne noudattaa dynaamisen tasapainosijoittelun määrittämiä reittipuita. Sijoittelu on luonteeltaan stokastinen, koska linkkien matka-aikoja muutetaan virhekertoimen avulla. Toisen ajoneuvoluokan reititys perustuu linkkien reaaliajassa päivitettäviin ajoaikoihin. Reittipuiden laskentaafrenkvenssinä on käytetty 300:a sekuntia. Luokan ajoneuvot jaetaan yhtä suuriin osuuksiin siten että 60 sekunnin välein viidennekselle ajoneuvoista lasketaan uudet reitit.

Muuttuvat opasteet sijoitetaan linkin päätepisteessä olevaan solmuun. Linkille tulevan luokan 1 ajoneuvon reititys muuttuu vastaamaan luokan 2 ajoneuvoa seuraavien 180 sekunnin ajaksi. Opasteet on sijoitettu keskustaan sijoittuville pääväylille ja Kehä I:lle ennen pääväylien risteyskohtia. Muuttuvia opasteita ei ole tässä mallissa asennettu Helsingin kantakaupungin alueelle eikä keskustasta poismeneviin suuntiin. Opasteiden noudattamisasteen vaikutusta on tutkittu kolmella parametrin arvolla, jotka on 0 %, 15 % ja 30 %.

Verkon häiriöt kuvataan linkin kapasiteetin reduktiona. Tutkimusprojektissa mallinnetaan 25 ja 10 minuuttia kestäviä häiriöitä. Ensimmäinen häiriöistä on sijoitettu Kehä I:lle Leppävaaraan länteen vievälle ajoradalle. Kahden kaistan sulkeva häiriö kestää 15 minuuttia, minkä jälkeen yksi kaista on suljettuna 10 minuuttia. Toinen häiriöistä on sijoitettu Kehä I:lle Malmille itään vievälle ajoradalle. Häiriö sulkee liikenteen kokonaan viideksi minuutiksi ja sen jälkeen vielä toisen kaistoista viideksi minuutiksi.

6.4.3 Tulokset

Yleisiä huomioita

Riippumattomien muuttujien funktiona tutkittiin koko ajoneuvokannalle laskettuna sekä erikseen ajoneuvoluokkien keskiarvona

- matka-aikaa
- ajosuoritetta
- verkon matkanopeutta
- polttoaineen kulutusta sekä
- todettuja pakokaasupäästöjä (HC, CO ja NO_x).

Varsinaisia simulointiajoja edeltäneissä testiajoissa todettiin INTEGRATIONin kaistanvaihtologiikan ruuhkauttavan joitakin risteys- ja liittymäalueita. Muutamilla ryhmitysalueiden korjauksilla voitiin simulointiin kuluva aikaa lyhentää.

Referenssisimulointi pelkällä taustaliikenteellä ilman muuttuvia opasteita, dynaamista reitinvalintaa ja häiriöitä tuottaa aamuruuhkan, jossa ongelmalueet ovat Länsiväylällä Otaniemen liittymässä ja Ruoholahdessa, Turunväylän ja Huopalahdentien risteyksessä, Huopalahdentiellä ja Paciuksenkadulla Tukholmankadun risteyksessä, Vihdintien ja Hämeenlinnankäytävän risteyksessä Ruskeasuolla, Hakamäentien ja Veturitien risteyksessä, Lahdentiellä Koskelantien ja Kehä I:n liittymässä sekä Itäväylällä Sörnäisistä Kulosaareen ja Herttoniemen liittymässä. Sörnäisissä ruuhkautuminen ei vastaa kenttämittauksissa havaittuja olosuhteita ja se johtuu pääosin INTEGRATIONin kaistanvaihtologiikasta.

On todettava, että koska verkkoon ei ole mallinnettu valo-ohjausta, vastaa liittymien toiminta tilannetta, jossa valo-ohjaus olisi kytketty pois päältä.

Liikenneinformaation vaikutus

Simulointiajot

Liikenneinformaation jakamiseksi taustaliikenteelle verkon 20 solmuun mallinnettiin muuttuva opaste. Simulointiajoissa annettua informaatiota noudatti 15 % tai 30 % ajoneuvoista. Ajoneuvot saivat kyseisissä solmupisteissä tiedon linkkien reaaliaikaisista matka-ajoista ja noudattivat siten 180 sekunnin ajan dynaamista reitinvalintaa.

Neljässä seuraavassa skenaariossa muuttuvien opasteiden lisäksi verkkoon mallinnettiin dynaamisella reitinvalinnalla varustettuja autoja, joiden yleistymisaste oli 10 % tai 20 %. Vastaavasti muuttuvien opasteiden tietoja noudatti jälleen joko 15 % tai 30 % autoista.

Simulointi käsitti riippumattomien muuttujien eri parametreista koostetut kombinaatiot, joista tutkittiin *taulukossa 5* esitettävät tapaukset.

Taulukko 5. Simulointiajoissa tutkittujen muuttujien parametrien kombinaatiot.

Simulointi- ajon koodi	Muuttuvien opasteiden noudattamisaste	Dynaamisella reitin- valinnalla varustettujen autojen yleistymisaste	Häiriöi- den luku- määrä
0i0c0c	0,0	0,0	0
0i2c0c	0,0	0,0	2
0i2c1d	0,15	0,0	2
0i2c3d	0,30	0,0	2
1i2c1c	0,15	0,1	2
2i2c1c	0,15	0,2	2
1i2c3c	0,30	0,1	2
2i2c3c	0,30	0,2	2

Muuttuvat opasteet

Yhteenvedona pelkkien muuttuvien opasteiden vaikutuksesta todetaan, että vähäinen uudelleenreititys siirtänee kysyntää pienemmän kapasiteetin linkeille. Alhaisempi noudattamisaste on tässä tapauksessa edullisempi, koska matka-aika lyhentyy (kuva 24) ja matkanopeus kasvaa hieman (kuva 25) sekä polttoaineen kulutus (kuva 26) laskee lievästi. Suurempi noudattamisaste on epäedullinen. Syynä negatiivisiin vaikutuksiin saattaa olla taustaliikenteen reittipuiden laskentafrekvenssin ja dynaamista reitinvalintaa jäljittelevän toiminnon laskentafrekvenssien epäedulliset ominaistajuudet yhdistettynä informaation 180 sekunnin voimassaoloaikaan, jotka tekijät ohjaavat uudelleenreititettyt autot jo ruuhkautuneille linkeille. Systeemin viiveen virittämiseen voidaan vaikuttaa em. frekvenssien toisenlaisella valinnalla.

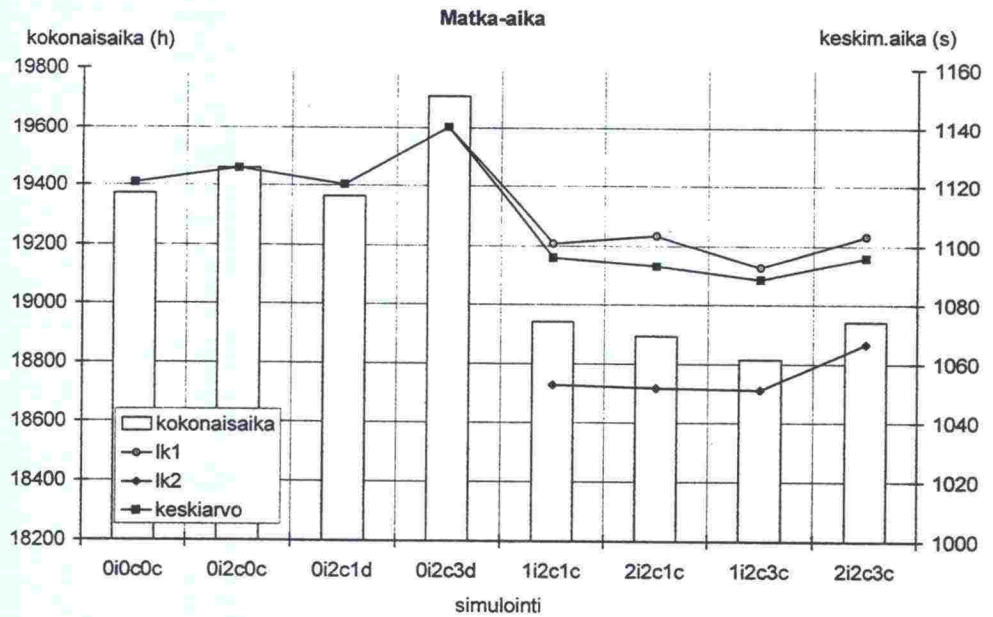
On painotettava, että liikenneinformaation saatavuudesta aiheutuvat muutokset ovat hyvin pieniä, koska kuten edellisessä kappaleessa havaittiin, mallinnetut häiriötkään eivät vaikuta suuresti koko verkon toimintaan. Tutkimuksen tekijän näkemyksen mukaan Kehä I:llä ei tapahdu epänormaalia ruuhkautumista muualla kuin pohjoissuunnassa Turunväylän itään vievän rampin edellä ja samoin pohjoissuunnassa ennen Lahdenväylän itään vievää rampia.

Ruuhkautuminen on havaittavissa ohjelman ajonaikaisesta graafisesta verkkoesityksestä, jossa yksittäisten autojen väri kertoo niiden nopeuden suhteessa linkin vapaaseen nopeuteen.

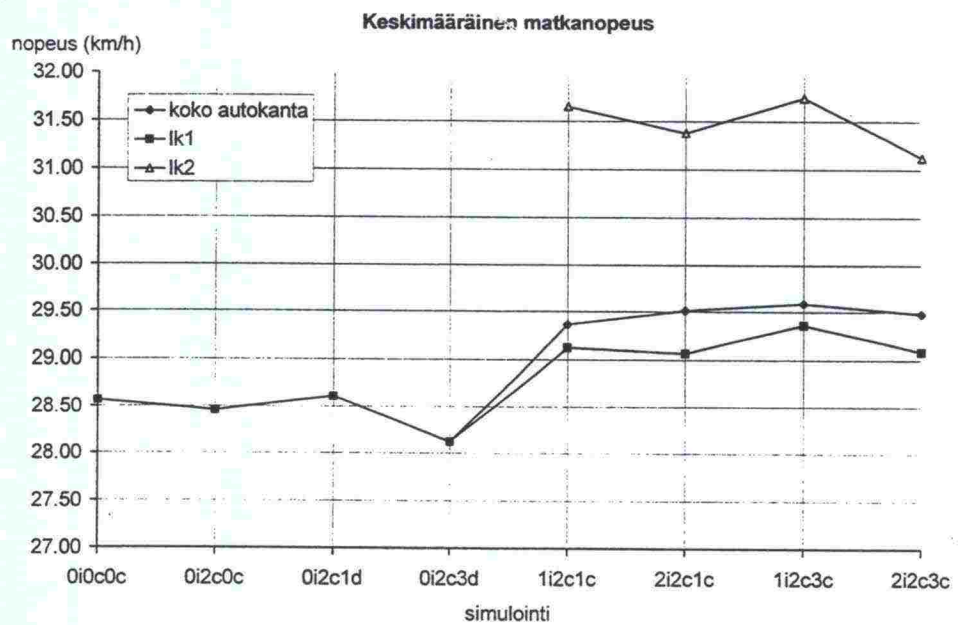
Ns. Leppävaaran suoralla oleva 25 minuutin mittainen häiriö ei katkaise liikennettä täydellisesti. Se ei vaikuta kovinkaan voimakkaasti linkillä taaksepäin. Itse asiassa seuraavassa solmussa Perkkaan suunnasta tuleva liikenne pääsee Kehä I:lle paremmin kuin normaalitilanteessa, mikä vähentää syöttölinkille ja sen jälkeisille linkeille muutoin syntyvää ruuhkaa.

Malmille mallinnettu häiriö katkaisee itäänpäin menevän liikenteen kokonaan

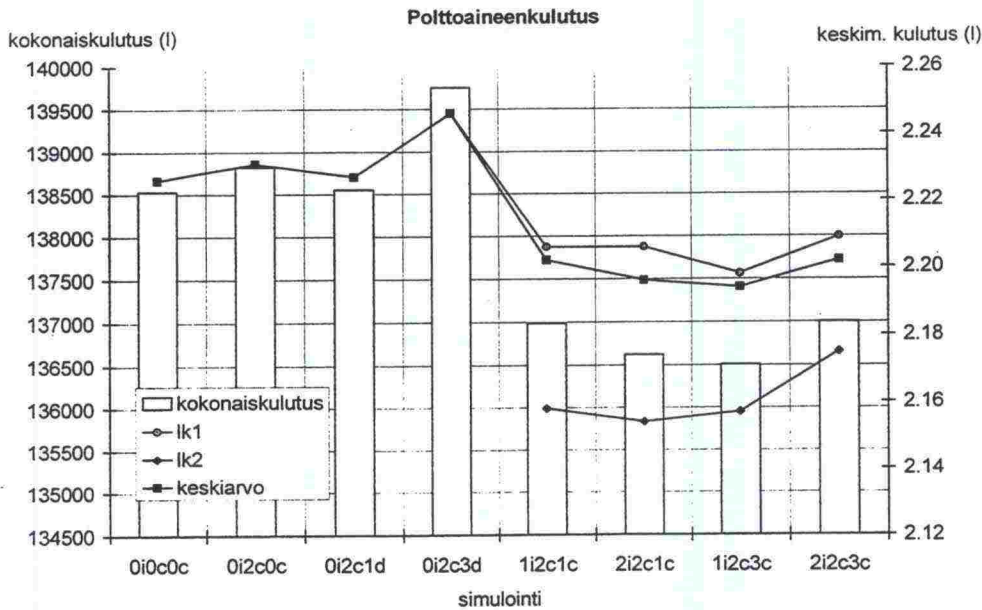
viideksi minuutiksi. Molemmille kaistoille kertyvä jono ulottuu lähes Pukinmäen liittymään, mutta toisen kaistan avautuminen laukaisee ruuhkan. Yhteenvetona referenssisimuloinnista ja kahden häiriön tilanteesta voidaan todeta, että mallinnettujen häiriöiden vaikutukset ovat hyvin lieviä koko järjestelmän toiminnan kannalta kyseisen laajuisessa verkossa.



Kuva 24. Matkoihin kulunut aika eri skenaarioissa (lk1 = tavalliset autot, lk2 = dynaamisella reitinvalinnalla varustetut autot).



Kuva 25. Keskimääräinen matkanopeus (lk1 = tavalliset autot, lk2 = dynaamisella reitinvalinnalla varustetut autot).



Kuva 26. Litroissa mitattu polttoaineen kokonaiskulutus ja keskimääräinen kulutus ajoneuvoluokittain (lk1 = tavalliset autot, lk2 = dynaamisella reitinvalinnalla varustetut autot).

Dynaamisen reitinvalinnan ja muuttuvien opasteiden yhteisvaikutus

Dynaamisen reitinvalinnan sisältävissä skenaarioissa verkkoon on mallinnettu ajoneuvoja, jotka saavat reaaliaikaista informaatiota linkkien matka-ajoista. Kuten aiemmin todettiin, luokan 2 ajoneuvot on jaettu viiteen ryhmään, joista kukin reagoi linkkien muuttuneisiin ajoaikoihin 300 sekunnin välein. Ohjelman kehittäjät ovat tällä ratkaisulla ilmeisesti pyrkineet vaimentamaan järjestelmän värähtelyä.

Kuvaajista voidaan nyt lukea keskimääräiset arvot erikseen taustaliikenteelle ja dynaamisen reitinvalinnan ajoneuvoille. Tunnuslukuista matka-aika (kuva 24), pysähdysten määrä, keskimääräinen matkanopeus (kuva 25) ja polttoaineen kulutus (kuva 26) ovat parempia luokan 2 ajoneuvoilla kuin taustaliikenteellä. Kuten muuallakin tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, myös taustaliikenne hyötyy kysynnän tasaisemmasta jakautumisesta, jolloin koko järjestelmän keskimääräiset tunnusluvut ovat edullisemmat kuin referenssiskenaarioissa. Dynaaminen reitinvalintajärjestelmä tehostaa siis järjestelmän normaaliakin toimintaa toistuvissa aamuruuhkissa.

Virhelähteitä ja mallin rajoituksia

Seuraavassa luettelossa on mainittu simulointiajojen virhelähteitä:

- Simulointien toistettavuus: stokastinen termi ja simulointiajan desimaaliosasta johdettava satunaislukugeneraattorin siemenluku aiheuttavat vaihtelua eri ajojen välillä.
- Syöttölinkkien parametrit vaikuttavat kulutusta ja päästöjä lisäävästi sekä nostavat verkon matkanopeutta ja lyhentävät keskimääräisiä

matka-aikoja.

- Liikennevalojen mallinnuksen puuttuminen muuttaa risteyskäyttäytymistä.
- INTEGRATIONin kaistanvaihtologiikka vaatii nykyisillä parametreilla liian suuria ajoneuvojen välejä.

Mallin rajoituksena on Kehä III:n sekä kehäteiden välisten linkkien puuttuminen. Toisaalta nykyisen ohjelmaversion spesifikaatiot, erityisesti makroalueiden maksimimäärä, estävät mallin laajentamisen koko pääkaupunkiseudun kattavaksi.

6.4.4 Yhteenveto

Kehä I:n häiriötilanteen tutkimus INTEGRATION-simulointimallilla vaatii huolellisen suunnittelun ja parametrien testaamisen. Tutkimuksessa toteutettu simulointisuunnitelma käsitti vain kahdeksan demonstraatioajoa, eli parametrien kaikkia kombinaatioita ei tutkittu. Myös parametrien vaihtelualue oli suppea.

Ajojen tuloksena voitiin todeta, että mallinnetut häiriöt eivät vaikuttaneet voimakkaasti järjestelmän toimintaan. Häiriöiden toisenlaisella sijoittelulla ja kestoajan sekä voimakkuuden valinnalla voidaan saada esiin selkeämpiä eroja referenssitilanteeseen verrattuna. On kuitenkin otettava huomioon, että käytetyssä verkossa ja käytetyllä kysynnällä häiriövaikutukset katoavat helposti järjestelmän kohinaan.

Muuttuvien opasteiden vaikutusta tutkittiin sijoittamalla opaste verkon 20:een solmuun. Sijoittelulla pyrittiin varmistamaan vaihtoehtoisten reittien valintamahdollisuus. Tutkituilla riippumattomien muuttujien arvokombinaatioilla 15 %:n noudattamisaste osoittautui parantavan johdonmukaisesti, mutta vain hieman järjestelmän toimintaa tärkeimpien tunnuslukujen perusteella. Sen sijaan suuremman ajoneuvomäärän uudelleenreititys noudattamisasteen ollessa 30 % huononsi tunnuslukuja käytetyillä arvoilla.

Dynaaminen reitinvalintajärjestelmä saadaan parametrien valinnalla reagoimaan nopeammin verkon olosuhteiden muutoksiin. Tyypillisenä tuloksena saadaan varustettujen ajoneuvojen kohdalla simulointiajojen tunnusluvut paranemaan. Myös taustaliikenne hyöttyy luokan 2 ajoneuvojen uudelleenreitityksestä.

7 PÄÄTELMIÄ LUPAAVIMMISTA SIMULOINTIMENETELMIEN SOVELLUSALUEISTA JA KEHITYSSUUNNISTA

7.1 Yleishavainnot ja -suositukset

Liikenteen simulointimallien ja -ohjelmien kehitystyö on yleensä tehty korkeakouluissa ja tutkimusorganisaatioissa, joissa niitä yhä enimmäkseen käytetään. Liikenteen simulointiohjelmistoissa on usein melko hankala käyttöliittymä hienoista liikenneteknisistä yksityiskohdista huolimatta. Ohjelmistot ovat kuitenkin muuttumassa helppokäyttöisemmiksi tietotekniikan kehittymisen myötä ja ohjelmistojen käyttötarpeen sekä käyttäjäkunnan kasvaessa. Monesta perinteisestä ja uudesta simulointiohjelmasta on kehitteillä tai jo julkaistu Windows-käyttöjärjestelmään laadittu versio. Käytön ohella myös mallien laadinnan tueksi on kehitetty vuorovaikutteisia editoriohjelmiä ja tietojärjestelmien yhteensovitusta.

Mikrotason tarkastelu yleistyy liikenteen simuloinnin kaikilla osa-alueilla. Mikrosimulointimallit ovat käyttäytymistieteellisesti makromalleja realistisempia, koska ne voivat kuvata dynaamisten ilmiöiden vaikutusta liikenneyksiköihin suoremmin. Mikromallien haittapuolia ovat niiden suuret validointi- ja lähtötietovaatimukset sekä mallin laatimisen ja käytön tekniset vaatimukset.

Mallien inventointi osoittaa, että telematiikan vaikutuksia on koetettu kuvata monilla malleilla. Käynnissä on voimakas kehitystyö, joka ei kuitenkaan ole vielä niin pitkällä, että käytettävissä olisi monien telematiikkaratkaisujen vaikutusten arvioimiseen soveltuvia simulointiohjelmiä. Kehitys on kuitenkin nopeasti viemässä tähän suuntaan.

Suomessa liikenteen telematiikan keskeisimpiä kehityskohteita ovat tiedottaminen ja muuttuva opastus. Ajoneuvokohtaiset informaatiojärjestelmät yleistyvät. Sää- ja keliohjausta lisätään varsinkin maantieliikenteessä. Liikenteen kysyntää pyritään hallitsemaan sekä ruuhkautumisen välttämiseksi että liikenteen resurssien käytön tehostamiseksi. Liikennevalo-ohjausmenetelmiä kehitetään ja joukkoliikenteen etuuksia lisätään. Simulointia kannattaa käyttää telematiikkahankkeiden vaikutusten arviointiin jo suunnitteluvaiheessa.

Simulointiohjelmistojen hankinnassa tulisi keskittyä hyvin validoituihin, integroituihin ja Suomen oloihin soveltuviin ohjelmistoihin. Liikenneministeriö ja kauppa- ja teollisuusministeriö voisivat tukea tällaisten ohjelmistojen hankintaa. HUTSIM edustaa suomalaista asiantuntemusta liikenteen simuloinnissa ja sen integrointi-, käyttöjärjestelmä- ja telematiikkakehitystä kannattaisi tukea. Samaten kannattaisi panostaa myös kysynnän, turvallisuusvaikutusten ja tiedotusjärjestelmien simuloinnin kehittämiseen, sillä näillä hyvin keskeisillä alueilla tarvitaan vielä runsaasti kehitystyötä.

7.2 Sovellusaluekohtaiset havainnot ja suositukset

7.2.1 Kysyntä

Kysynnän mallintamisessa ollaan siirtymässä makroskooppisesta struktuuridun logittimallin avulla tapahtuvasta tarkastelusta yksilöiden diskreettien valintojen (matkapäättös, suuntautuminen ja kulkumuodon valinta) simulointiin. Myös matkustusajankohdan valintaa on mallinnettu, mutta pysäköintivalintoja ei.

Kysynnän simulointia käytetään liikennejärjestelmäsunnittelussa ja -analysoinnissa, joissa tarkastellaan liikenteen ja maankäytön vuorovaikutusta ja kulkumuotojen asemaa. Liikenteen telematiikan ja etenkin kysynnän hallinnan yleistymisen tulee vaikuttamaan matkustustottumuksiin. Kysynnän simuloinnilla voidaan pyrkiä mallintamaan matkaa edeltävän tiedotuksen vaikutuksia ja esimerkiksi kutsuhjauksisen joukkoliikenteen mahdollisuuksia. Kysynnän mallintamisessa tulisi pystyä hyödyntämään olemassa olevaa paikkatietoaineistoa (GIS) ja tutkimustuloksista johdettavia aktiviteettimalleja. Toistaiseksi kehitetyt simulointiohjelmat poikkeavat selkeästi toisistaan painotuksiltaan ja laajuudeltaan.

7.2.2 Tiedotusjärjestelmät

Liikenteen reitinvalinnan määrittämisessä ja analysoinnissa on perinteisesti käytetty deterministisiä EMME/2:n ja SATURNin kaltaisia sijoitteluohjelmistoja. Ne antavat hyviä tuloksia pysyvien tai pitkävaikutteisten liikenteen muutosten kuvaamisessa, esim. uuden väylähankkeen tai tietullien tapauksissa. Liikenteen telematiikan myötä liikenne muuttuu kuitenkin dynaamisemmaksi. Samalla korostuu ihmisten välisen vuorovaikutuksen sijasta ihmisen ja koneen vuorovaikutus.

Reitinvalinnan simuloinnissa on käytetty lähinnä tietoteknisten rajoitusten vuoksi makroskooppista tarkastelua. CONTRAM tarjoaa hyvät edellytykset dynaamisen reitinvalintamallin arvioinnille suurimpien suomalaisten kaupunkien vaatimassa mittakaavassa. Useiden ajanjaksojen käyttö ja ajoneuvojen jakaminen ryhmiin matkan tarkoituksen ja varustuksen mukaan aiheuttavat kuitenkin merkittäviä rajoituksia. Makrotarkastelut vaativat vaikutusten alueittaisen kohdentumisen tutkimiseen edelleen sijoitteluohjelmien tukea.

Reitinvalintavaikutusten tarkasteleminen tulee jatkossa tapahtumaan yhä useammin mikrosimuloinnin avulla. Mikromallien merkittävä ero tasapainosijoitteluohjelmiin verrattuna on reitinvalinnan jatkuva tarkastelu matkan aikana ja sen vaikutus liikenteen tilaan. Tiedotuksen vaikutusmekanismit eivät kuitenkaan ole täysin selviä ja ne vaativat lisätutkimusta. Malliryhmä on kiinnostava, koska liikenteenhallintajärjestelmällä on vaikutuksia sekä liikenteen sujuvuuteen että reitinvalintaan. Ryhmän parhaita ohjelmistoja dynaamisen reitinvalinnan suhteen ovat INTEGRATION ja AIMSUN2, joka on yhteensopiva EMME/2:n kanssa. Myös DYNASMART ja METANET ovat kiinnostavia, samoin kunnianhimoinen englantilainen DRACULA-projekti.

Luvussa 6 on esitelty simulointidemonstraatio, jossa tutkittiin liikenneinformaation vaikutuksia liikenteen häiriötilanteessa INTEGRATIONilla. Sen perusteella ohjelma pystyy kuvaamaan tyydyttävästi laajan kaupunkiseudun liikennetilannetta ja dynaamisen liikenneinformaation vaikutuksia. Ohjelman tehokas käyttö edellyttää kykyä ongelman rajaamiseen ja verkon tarkkaan kuvaamiseen. INTEGRATIONin liittymätoiminnot, autonseurantamallit ja kaistanvaihtologiikka toimivat oikeaoppisesti, mutta ruuhkatilanteissa ilmenee joitakin ongelmia. Muiden mikrosimulointiohjelmien tapaan se on melko vaativa niin käyttäjälle kuin lähtötiedoillekin.

7.2.3 Liikenteenohjaus

Pienten verkkojen tai yksittäisten liittymien simulointiohjelmia on käytetty 70-luvulta lähtien. Kuitenkin vasta viime vuosina on tullut mahdolliseksi mallintaa esim. joukkoliikenne-etuuksin varustettuja valo-ohjausjärjestelmiä. TRAF-NETSIMin etuna on kyky käsitellä laajahkoa verkkoa ja mahdollisuus määrittellä kymmenkunta kuljettajaluokkaa. HUTSIMin käytöstä on hyviä kokemuksia. Sillä voidaan mallintaa monenlaisten ajoneuvojen ja liikenneympäristöjen valo-ohjauksen vaikutuksia. METANET on myös kiinnostava makrosimulointiohjelma, joka on kehitetty moottoritieohjauksen tutkimiseen. Ohjelmat ovat kehityksessä alkuperäisistä tietyjen olosuhteiden malleista erilaisten liikenneympäristöjen tarkastelun mahdollistaviksi yleismalleiksi. Samalla myös sijoittelutoimintoja kehitetään.

Telematiikan vaikutuksia voidaan tarkastella simuloimalla kaupungin osaluuetta mikrosimulointiohjelmissa HUTSIM, NETSIM tai FLEXSYT tai makrosimulointiohjelmissa METANET. Yksi ratkaisu olisi käyttää AIMSUN2-ohjelmaa yhdessä EMME/2:n kanssa. Lisäarvoa liikennevirtamalleihin toisi mahdollisuus simuloida suomalaisten sää-, keli- ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksia.

Luvussa 6 on esitelty simulointidemonstraatio, jossa tutkittiin liikennevalo- ja järjestelyjen edullisuutta maantieympäristössä olevassa liittymässä HUTSIMilla. Valo-ohjauksen arvioinnissa HUTSIM on hyvä, mutta maantieliikenteen simuloinnissa kaistanvaihtologiikka ei täysin toimi. HUTSIM on kuitenkin hyvää vauhtia kehityksessä integroiduksi liikenteen simulointiohjelmaksi, joka mahdollistaa myös telematiikan simuloinnin.

7.2.4 Maksujärjestelmät

Maksujärjestelmillä on vaikutusta sekä kulkumuodon valintaan että reitinvalintaan. Staattisten maksujärjestelmien vaikutukset ovat yleensä melko pysyviä, joten niiden määrittämisessä ja analysoinnissa voidaan usein käyttää deterministisiä EMME/2:n ja SATURNin kaltaisia sijoitteluohjelmistoja.

Hyviä simulointiohjelmia ajosuunnan ja ajankohdan mukaan vaihtelevien dynaamisten maksujärjestelmien tutkimiseen ovat esim. mesoskooppien CONTRAM ja mikroskooppien INTEGRATION, joilla voi mallintaa muuttuvaa kysyntää ja linkin vastusta sekä reitinvalintavaikutuksia. Maksuasemista johtuvien viivytysten tutkimiseen voidaan käyttää FLEXSYT-ohjelmaa, joka ei kuitenkaan sisällä reitinvalintatoimintoa.

7.2.5 Ajoneuvonhallinta

Ajoneuvonhallinnan telemaattiset järjestelmät pyrkivät yleensä ajoturvallisuuden parantamiseen. Liikenneturvallisuusvaikutuksia onnettomuuksien muodossa ei kuitenkaan voida kuvata nykyisillä malleilla. Turvallisuusvaikutusten määrittämiseksi voidaan kuitenkin tuottaa joitakin tietoja. Nykyisin käytettävistä apuvälineistä turvallisuuden tutkimiseen maantieliikenteessä soveltuu parhaiten VTI-malli, taajamaliikenteessä HUTSIM-ohjelma ja moottoriteillä Autobahn Simulator. Myös AIMSUN2:ta voidaan harkita tietyin täydennyksin tuottamaan tietoa konflikteista.

Mikrosimuloinnin avulla voidaan tarkastella epäsuoria liikenneturvallisuusmit-

tareita, kuten konfliktien määrää, kriittisiä aikavälejä tai kriittisiä ohjausliikkeitä. Mikrosimulointia täytyy täydentää muilla seikoilla liikenneturvallisuusarvion laatimiseksi. Kuljettajan havainto- ja reaktiotoimintaa ja sen häiriöitä kuvaavat nanotason mallit yhdessä sumeaaan logiikkaan perustuvien autonseurantamallien ja sää-, keli- ja ympäristömallin kanssa tuottavat tulevaisuudessa kenties tehokkaan simulointityövälineen liikenneturvallisuuden tutkimiseen.

Luvussa 6 on esitelty simulointidemonstraatio, jossa tutkittiin automaattista nopeuden ja ajoneuvovälin säätöä HUTSIMilla. Suunnitteluvaiheessa olevan järjestelmän vaikutusten arviointi osoitti lupaavia tuloksia ja jatkotutkimustarpeita.

LÄHDELUETTELO

Alexiadis, V., Penic, M.A., Loudon, W.R., Gazda, W.E., Rosenberg, N., Giguere, R. (1994). Integrated Planning/Simulation Methodology for Analysis of Traffic Management Systems. Moving Toward Deployment, Proceedings of the IVHS AMERICA 1994 Annual Meeting, vol. 1, Atlanta, Georgia, April 17-20, 1994.

Algers, S., Hugosson, B., Lind, G. (1996). Modeller för utvärdering av transporttelematik, inventerin och förslag till integrerat modellsystem. KFB-Rapport 1996:11, Kommunikationsforskningsberedningen, Stockholm. 190 s.

Barceló, J., Ferrer, J.L., Grau, R., Florian, M., Chabini, I., Le Saux, E. (1995). A Route Based Variant of the AIMSUN2 Microsimulation Model. Steps Forward, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 Yokohama, Volume IV. s. 1971-1976.

Ben-Akiva, M., Bowman, J., Gopinath, D., (1996). Travel demand model system for the information era. Transportation 23, s. 241-266.

Bolelli, A., Mauro, V., Peronio, E. (1991). Models and Strategies for Dynamic Route Guidance, part B: a Decentralized, Fully Dynamic, Infrastructure Supported Route Guidance. Advanced Telematics in Road Transport, vol. 1. Proceedings of the DRIVE Conference Brussels, February 4-6, 1991. Elsevier. s. 99-105.

Charbonnier, C., Farges, J.L., Henry, J.J. (1991). Models and Strategies for Dynamic Route Guidance, part A: the Modelling of Dynamic Route Guidance. Advanced Telematics in Road Transport, vol. 1. Proceedings of the DRIVE Conference Brussels, February 4-6, 1991. Elsevier. s. 106-112.

Dempsey, P. (1996). Playing with traffic. Traffic Technology International June/July '96. s. 68-74.

Elefteriadou, L., Goulias, K. (1995). Stochastic Simulation for Integration of Traffic Assignment and Traffic Signal Operations. Steps Forward, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 Yokohama, Volume IV. s. 1983-1988.

Forward, S.E. (1993). Microscopic Models for the Assessment of ATT Systems. Framework for Prospective Traffic Safety Analysis. HOPES Horizontal Project for the Evaluation of Safety. Commission of the European Communities — R&D programme Telematics Systems in the Area of Transport (DRIVE II). March 1993.

Goto, Y., Corrado, F., Komaya, K., Fukuda, T., Furusawa, H. (1995). A Micro-scope Traffic Flow Simulator. Steps Forward, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 Yokohama, Volume IV. s. 1905-1910.

Hanebutte, U.R., Tentner, A.M. (1995). Traffic Simulations on Parallel Com-

puters Using Domain Decomposition Techniques. Steps Forward, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 Yokohama, Volume IV. s. 1934-1939.

Hawas, Y.E., Mahmassani, H.S. (1995). A Decentralized Scheme for Real-Time Route Guidance in Vehicular Traffic Networks. Steps Forward, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 Yokohama, Volume IV. s. 1956-1963.

Horiguchi, R., Kuwahara, M., Nishikawa, I. (1995). The Model Validation of Traffic Simulation System for Urban Road Networks: 'AVENUE'. Steps Forward, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 Yokohama, Volume IV. s. 1977-1982.

Hotz, A.F., Koutsopoulos, H.N., Ben-Akiva, M., Bernstein, D., Chachich, A., Mishalani, R., Jonnalagadda, N.V., Yang, Q., Brindley, B., Krechmer, D., Marcus, C. T. (1994). Evaluating Traffic Control Systems Using Microsimulation: the Central Artery/Tunnel Integrated Project Control System (IPCS). Moving Toward Deployment, Proceedings of the IVHS AMERICA 1994 Annual Meeting, vol. 1, Atlanta, Georgia, April 17-20, 1994.

Hounsell, N., McDonald, M., Breheret, L. (1991). Models and Strategies for Dynamic Route Guidance, part A: the Modelling of Dynamic Route Guidance. Advanced Telematics in Road Transport, vol. 1. Proceedings of the DRIVE Conference Brussels, February 4-6, 1991. Elsevier. s. 89-98.

Kaman Sciences (1997). TSIS. <http://hubble.ksc.com/fhwa-tsis/tsis/tsis.htm>. 4.3.1997

Kitamura, R., Pas, E., Lula, C., Lawton, K., Benson, P., (1996). The sequenced activity mobility simulator (SAMS): an integrated approach to modeling transportation, land use and air quality. Transportation 23, s. 267-291.

Kosonen, I. (1996). HUTSIM - Simulation Tool for Traffic Signal Control Planning. Helsinki University of Technology, Transportation Engineering, Publication 89. Otaniemi 1996, 121 s. + 5 liitettä.

Kosonen, I., Pursula, M. (1996). Simulointi liikennetutkimuksen ja -suunnittelun työvälineenä. Korkeakoulujen atk-uutiset 1/96. s. 21-24.

Kulmala, R. (1996). Traffic safety and transport telematics. Road Safety in Europe 9 - 11 September, 1996 - Keynote paper for the session on Advanced Telematics for an Enhanced Road Safety.

Ledoux, C., Boillot, F., Sellam, S., Gallinari, P. (1995). On the Use of Neural Network Techniques for Traffic Flow Modelling. Steps Forward, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 Yokohama, Volume IV. s. 1915-1919.

Liikenneministeriö (1996). Valtakunnalliset liikennevirtamallit. Liikenneministeriön julkaisuja L19/96. Helsinki. 147 s.

Lind, G. (1996). TOSCA II, Möjliga effekter av transporttelematik i Göteborgsregionen. VTI:s och KFB:s forskardagar - del 1. s. 70-77.

Luoma, S. (1996). Integration-simulointiohjelman (versio 1.5e) kuvaus ja kokeilu pääkaupunkiseudulle. Teknillinen korkeakoulu, liikennelaboratorio, liikennetekniikan erikoistyö. 31 s.

Morin, J.M., Gower, P., Papageorgiou, M., Messmer, A. (1991). Motorway Networks, Modelling and Control. Advanced Telematics in Road Transport, vol. 1. Proceedings of the DRIVE Conference Brussels, February 4-6, 1991. Elsevier. s. 148-171.

Noukka, M. (1995). Tieliikenteen telematiikka, sen vaikutukset ja vaikutusten arviointi. Tielaitoksen selvityksiä.

O'Kinneide, D. (ed.), Dryselius, B., Gutowski, A., Gynnerstedt, G., Risser, R., McCaul, B., Merza, H. (1995). The Specification and Evaluation of ATT Based Scenarios. DRIVE II Project V2002 HOPES (HORIZONTAL Project for the Evaluation of Safety. Deliverable 31, Workpackage 24.

Pooran, F.J., Lieu, H.C. (1994). Evaluation of System Operating Strategies for Ramp Metering and Traffic Signal Coordination. Moving Toward Deployment, Proceedings of the IVHS AMERICA 1994 Annual Meeting, vol. 2, Atlanta, Georgia, April 17-20, 1994.

Pooran, F., Tarnoff, P., Clark, J. (1997). A Suite of Strategies for Signal Control. Traffic Technology International June/July '97, s. 28-32.

Pursula, M. (1982). Liikenteen simulointi. Helsingin teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka, opetusmoniste 5. Otaniemi.

Pursula, M., Silfverberg, B. (1997). Mikrosimuloinnin kehittäminen, esimerkkinä Kehä III, alustava tutkimusohjelma. Otaniemi 3.1.1997. 16 s.

Quadstone Ltd (1997). Paramics: Microscopic Traffic Simulation. <http://www.paramics.com>. 13.6.1997.

Ranta, S. (1994). Sumeat mallit liikennetekniikassa. Liikennetekniikan seminaari 1993-94 Tutkimusmenetelmät ja -tekniikat. Teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka, julkaisu 83. Otaniemi 1994.

Saito, T., Yasui, K., Fujii, S., Itakura, S. (1995). Development of Microscopic Simulation Model for Traffic Network (MICSTRAN-II) and Traffic Flow Simulator for Evaluation of Traffic Signal Control. Steps Forward, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 Yokohama, Volume IV. s. 1920-1925.

Sakamoto, K., Kubota, H., Takahashi, N., Sugiura, T., Iwazaki, N. (1995). Micro Simulation for Traffic Assignment Model Applicable to On-Trip Driver Information System: tiss-NET WIN. Steps Forward, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 Yokohama,

Volume IV. s. 1926-1933.

Salakka, K. (1996). Sijoitteluohjelmistot. Liikennetekniikan seminaari 1995-96, Liikenteen sijoittelu. Teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka, julkaisu 88. Otaniemi 1996.

Shimoura, H., Nishimura, S., Nagao, M., Tenmoku, K. (1995). Evaluation of the Effect of DRGS Using Traffic Simulation System. Steps Forward, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 Yokohama, Volume IV. s. 1989-1994.

Smith, E.J. (1996). Modeling Perspectives for the Automated Highway. ITE Journal, March 1996. s. 32-38.

Sorsa, T. (1993). Liikenteen simulointi. Liikennetekniikan seminaari 1993-94 Tutkimusmenetelmät ja -tekniikat. Teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka, julkaisu 83. Otaniemi 1994.

Spear, B. (1996). New approaches to transportation forecasting models; A synthesis of four research proposals. Transportation 23, s. 215-40.

Stathopoulos, A., Ruske, W. (1991). A Framework for Integrated Dynamic Analysis of Travel and Traffic. Advanced Telematics in Road Transport, vol. 2. Proceedings of the DRIVE Conference Brussels, February 4-6, 1991. Elsevier. s. 1063-1075.

Stopher, P., Hartgen, D., Li, Y., (1996). SMART: simulation model for activities, resources and travel. Transportation 23, s. 293-312.

Underwood, S.E., Gehring, S.G. (1993). Approaches to IVHS Evaluation: Advanced Travelers Information Systems and Advanced Traffic Management Systems. Proceedings of the IEEE-IEE Vehicle Navigation and Informations Systems Conference, October 12-15, 1993, Ottawa, Canada. IEEE Catalogue # 93CH3285-4.

Uusiheimala, M. (1996). Uudenmaan tiepiirin liikenteen hallintakeskuksen tehtävät ja toiminnot. Tielaitoksen selvityksiä 5/1996. Helsinki. 93 s. + liitteet 23 s.

Van Aerde, M., Hellinga, B., Baker, M., Rakha, H. (1996). INTEGRATION: An Overview of Traffic Simulation Features. A Paper Accepted for Presentation at the 1996 Transportation Research Board Annual Meeting.

Yokoi, A., Kawasugi, K., Saito, T., Tamura, K. (1995). Traffic Simulation System: Advanced Traffic Control System of Tokyo Metropolitan Police Department. Steps Forward, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 Yokohama, Volume IV. s. 1964-1970.

Zumkeller, D., (1993). Aufbereitung vorhandener Daten für Verkehrsplanungszwecke als Ersatz für neue Befragungen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 642. Bonn. 57 s.

LIITTEET

- Liite 1. Kooste simulointiohjelmien ominaisuuksista.
- Liite 2. Ohjelmistotiedot.

KOOSTE SIMULOINTIOHJELMIEN OMINAISUUKSISTA

Ohjelmisto	Liikennevirran käsittelytapa			Suurin tarkastelumittakaava			Liikenneympäristö	
	Makro-skooppinen	Mikro-skooppinen	Meso-skooppinen	Yksittäinen tieosuus/liittymä	Väylä/liikennekäytävä	Laajahko verkko	Maantie	Katu
AIMSUN2		X				X		X
Autobahn Simulator		X		X			X	
AVENUE			X			X		X
CONTRAM			X			X		X
CORSIM		X			X		X	X
DRACULA		X			X		X	X
DYNASMART			X			X	X	X
FLEXSYT II		X			X		X	X
FRESIM		X			X		X	
HUTSIM		X			X		X	X
INTEGRATION		X				X	X	X
MCONTRM			X			X		X
MELROSE		X				X	X	X
METANET	X					X	X	
MICSTRAN-II		X						X
NETSIM		X				X		X
PARAMICS		X				X	X	X
SATURN	X							X
SITRA B+		X			X		X	X
Tiss-NET WIN		X				X		X
TRANPLAN	X					X	X	X
TRANSYT	X					X		X
TRARR		X		X			X	
VTI		X			X		X	

Ohjelmisto	AIMSUN2 (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks)
Suunnittelija	LIOS, Katalonian teknillinen korkeakoulu, Barcelona, Espanja
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	UPC, Barcelona, Espanja
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	pystyy kuvaamaan liikenneoloja erilaisilla verkoilla.
Simuloitavat ilmiöt	liikenteenohjauksen vaikutukset, dynaaminen reitinvalinta
Muuttujat	yksityiskohtainen verkkogeometria, valo-ohjauskaaviot, liikenteen määrä ja kääntymisosuudet ajan funktiona
Tulosparametrit	graafinen esitys verkon tilasta, tilastollinen yhteenveto (liikennemäärät, nopeudet, matka-ajat, viivytykset, pysähdykset) ja simuloituista antureista kerätyt tiedot (liikennemäärät, nopeudet, jononpituudet)
Muut ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none">• mallintaa myös liikenteen häiriöitä, konflikteja jne.• AIMSUN2 on yhdistetty diskreetti-jatkuva-aika-simulaattori: järjestelmässä on joitain elementtejä (ajoneuvot, ilmaisimet), joiden tila muuttuu jatkuvasti simuloinnin kuluessa, ja elementtejä (liikennevalot, saapumispisteet), joiden tila muuttuu diskreetisti määrätyillä hetkillä.
Käyttöympäristö	<ul style="list-style-type: none">• työasemaympäristö• PC-ympäristö
Viitteet	Barceló ym. 1995 AIMSUN2 - User's Manual, Katalonian teknillinen korkeakoulu 1995

Ohjelmisto	Autobahn Simulator
Suunnittelija	BenzConsult Gmbh
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	
Simuloitavat ilmiöt	jononmuodostus ja riskitilanteet moottoriteillä, kuljettajakäyttäytyminen ja ajoneuvojen välinen vuorovaikutus
Muuttujat	ajoneuvojen ominaisuudet ja niiden jakauma: maksimihidastuvuus, ajoneuvopituus, kiihtyvyys, kuljettajan havaintokynnys ja vaarallinen aikaväli
Tulosparametrit	liikennevirran tiheys, nopeus, liikennemäärä, kaistanvaihtojen määrä ja aikavälit, eriteltynä kaistoittain ja tienkohdittain
Muut ominaisuudet	
Käyttöympäristö	
Viitteet	Algers ym. 1996

Ohjelmisto	AVENUE (Advanced & Visual Evaluator for road Networks in Urban arEas)
Suunnittelija	Institute of Industrial Science, Tokion yliopisto, Japani
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	
Liikenteen käsittelytapa	mesoskooppinen, käsittelee liikennevirran ja reitinvalintakäyttäytymisen lisäksi joitain mikroskooppisia ilmiöitä, kuten kaistanvaihtokäyttäytyminen ja kääntymiskaistojen täyttyminen
Tarkastelumittakaava	alue, joka käsittää kymmeniä liittymiä
Simuloitavat ilmiöt	kaupunkiliikenteen ruuhkautuminen, geometrian, liikennesääntöjen ja ohjauksen vaikutukset
Muuttujat	liikennemäärät ja -virrat, liikenteen vaihtelut, valo-ohjaus, joukkoliikenneterminaalit ja niiden toiminta
Tulosparametrit	liikennemäärät, jononpituudet, matka-ajat, pysähdykset linkeillä ja koko mallissa
Muut ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none">• simuloi kuljettajien reitinvalintakäyttäytymistä telematiikkaratkaisujen vaikutusten arvioimiseksi• liikennevirtamalli kuvaa liikenteen toimintaa sekä yli- että alikuormittuneella verkolla
Käyttöympäristö	
Viitteet	Horiguchi ym. 1996

Ohjelmisto	CONTRAM (CONtinuos TRaffic Assignment Model) (Ver. 5)
Suunnittelija	Transport Research Laboratory, Englanti
Suunnittelun aloitus	1970-luvun alussa
Jälleenmyyjä	McTrans, University of Florida, USA hinta 4925 \$ (12/96)
Liikenteen käsittelytapa	mesoskooppi
Tarkastelumittakaava	<ul style="list-style-type: none"> • verkko, jonka maksimikoko riippuu käytettävissä olevan keskusmuistin koosta <ul style="list-style-type: none"> - linkkien maksimimäärä noin 1 000 – 1 500 - solmujen maksimimäärä 300 – 400 • myös aikajaksojen ja lähtö-määräpisteparien määrä vaikuttaa verkon maksimikokoon. • tyypillinen CONTRAMilla kuvattu verkko koostuu enintään 50:stä sisään-tulo- ja ulos-menopisteestä, 500 – 1 000:n lähtöpiste-määräpisteparin välisistä matkoista sekä enintään 400:sta linkistä ja 25:stä liikennevaloista
Simuloitavat ilmiöt	erilaisten kaupunkiliikenteen järjestelyjen tutkiminen ja vertailu (ei jalankulkijoita)
Muuttujat	liikenneverkon rakenne, valo-ohjauksen järjestämistapa ja liikenteen jakautuminen eri reiteille liikennetilanteen mukaan
Tulosparametrit	<ul style="list-style-type: none"> • mm. matka-ajat, viivytykset ja keskinopeudet sekä tieto liikenteen jakautumisesta eri reiteille • syöttö- ja tulostiedostot ovat ASCII-muotoisia, eikä itse ohjelmassa ole grafiikkatulostuksia.
Muut ominaisuudet	liikennevalojen sekä jononmuodostuksen mallintaminen
Käyttöympäristö	<ul style="list-style-type: none"> • versio 5 kehitetty PC-ympäristöön • saatavissa myös muihin tietokoneympäristöihin • alkeellinen käyttöliittymä Norjassa on kehitetty CONTRAMiin apuohjelma, jolla voidaan tehdä kuvatiedostoja.
Viitteet	Kosonen, Pursula 1996, Salakka 1996

Ohjelmisto	CORSIM
Suunnittelija	FHWA, Federal Highway Administration, USA
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	McTrans, University of Florida, USA
Liikenteen käsittelytapa	CORSIM-järjestelmä integroi staattisella liikenteensijoittelumallilla varustetut NETSIM- ja FRE-SIM- (katu- ja tie) mikrosimulaattorit
Tarkastelumittakaava	liikennekorridori tai alue, joka koostuu tie- ja katuverkosta
Simuloitavat ilmiöt	tieliikenneoperaatiot
Muuttujat	<ul style="list-style-type: none"> • ajoneuvo- ja kuljettajatyypit • liikennemäärät, liikenteen vaihtelut, lähtö- ja määräpaikat • geometria • suunnitteluratkaisujen, ohjaus- ja liikennemuuttujien yksityiskohdat • yksittäisten ajoneuvojen liikkeet ja kuljettajien päätökset
Tulosparametrit	tietokanta ja tilastolliset analyysit liikenteen käyttäytymisestä, linkkien liikennemäärät ja matkaajat
Muut ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none"> • C++-kielellä ohjelmoitu oliopohjainen TRAFVU <ul style="list-style-type: none"> - tuottaa graafisia tulosteita - mahdollistaa saman liikenneverkon samoissa tai eri olosuhteissa tapahtuvan simuloinnin useiden näkymien yhtäaikaista animaation - tarjoaa käyttäjäystävällisen ympäristön - sallii lukuisien simulointitulosten esitystapojen, kuten kaksi- ja kolmiulotteisten kuvaajien, taulukoitten ja diagrammien, analysoinnin • Uusi ohjelmaversio RT-CORSIM toimii reaaliaikaisesti
Käyttöympäristö	TRAFVU toimii useissa erilaisissa käyttöjärjestelmissä sekä PC- että UNIX-ympäristöissä
Viitteet	Kaman Sciences 1997

Ohjelmisto	DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning And microsimulation)
Suunnittelija	Institute for Transport Studies, Leeds, Englanti
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	Institute for Transport Studies, Leeds, Englanti
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	testattu n. 1 km ² suuruisella korridorilla
Simuloitavat ilmiöt	matkasuunnittelun arvioiminen, maksujärjestelmät, viitoitus, liikenteen ohjaus ja nopeudensovitus
Muuttujat	reaktioaika, tavoitenopeus, ajoneuvoväli ja siihen liittyvä riskitekijä
Tulosparametrit	matka-aika
Muut ominaisuudet	grafiikkana simuloinnin aikana ajoneuvojen animaatio, muulloin tulosten esittäminen, verkko-editori ja matriisilaskuri
Käyttöympäristö	
Viitteet	Van Vliet ym. (1995). DRACULA: Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation. PTRC.

Ohjelmisto	DYNASMART (DYnamic Network Assignment Simulation Model for Advanced Road Telematics)
Suunnittelija	University of Texas at Austin, USA
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	ITS, University of California, Irvine, USA
Liikenteen käsittelytapa	makroskooppinen
Tarkastelumittakaava	laaja tie- ja katuverkko
Simuloitavat ilmiöt	viitoituksen ohjausstrategioiden vaikutus
Muuttujat	verkon rakenne, yhdistävyys ja geometria, valo-ohjaus, lähtö-määräpaikkakysyntä, suunnittelutaso, kuormitusaste
Tulosparametrit	matka-aika
Muut ominaisuudet	integroi liikennevirtamalleja (simulaattori), reitinmuodostusmetodologioita, käyttäytymissääntöjä ja informaationvälitysstrategioita simulointi-sijoitteluympäristössä
Käyttöympäristö	UNIX-ympäristö, CRAY supertietokone
Viitteet	Hawas, Mahmassani 1995

Ohjelmisto	FLEXSYT II
Suunnittelija	Rijkswaterstaat, Hollanti
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	kaupallinen
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	pieni moottoritie- tai taajamatieverkko
Simuloitavat ilmiöt	liikenteen ohjaus, maksuasemat, pääsynsäätely, nopeudenojaus, kaistaohjaus
Muuttujat	kysyntä liikennevirtoina, kahdeksan erilaista ajoneuvoluokkaa
Tulosparametrit	liikennemäärät, viivytykset, jononpituudet, päästöt
Muut ominaisuudet	mahdollisuus simuloida ajoneuvojen, pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden toimintaa ja vuorovaikutusta
Käyttöympäristö	PC-mikrotietokone, DOS-käyttöjärjestelmä, Windows-käyttöliittymä kehitteillä
Viitteet	Algers ym. 1996

Ohjelmisto	FRESIM
Suunnittelija	U.S. Department of Transportation (DOT), Federal Highway Administration (FHWA)
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	McTrans, University of Florida, USA hinta 250 \$ (12/96)
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen, stokastinen, aikapäivitystä käyttävä simulaattori
Tarkastelumittakaava	verkko, joka koostuu linkeistä ja solmuista
Simuloitavat ilmiöt	tieliikenneoperaatiot
Muuttujat	<ul style="list-style-type: none">• geometria• suunnitteluratkaisujen, ohjaus- ja liikennemuuttujien yksityiskohdat• yksittäisten ajoneuvojen liikkeet ja kuljettajien päätökset• liikenteen vaihtelu
Tulosparametrit	tietokanta ja tilastolliset analyysit liikenteen käyttäytymisestä
Muut ominaisuudet	
Käyttöympäristö	
Viitteet	Smith 1996

Ohjelmisto	HUTSIM
Suunnittelija	Teknillinen korkeakoulu, Suomi
Suunnittelun aloitus	1989
Jälleenmyyjä	Traficon Oy, Suomi
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen, oliopohjainen
Tarkastelumittakaava	yksi liittymä tai laajempi simulointimalli (väylä-jakso tai pieni verkko)
Simuloitavat ilmiöt	<ul style="list-style-type: none"> • valo-ohjauksisten tasoliittymien toiminnan tutki-minen, yleisluontoinen liikennejärjestelmän tar-kastelu • myös ohjaamattomat liittymät, liikenneympyrät ja eritasoliittymät, ovat simuloitavissa • periaatteessa voidaan simuloida myös maan-tieliikennettä liittymien välillä.
Muuttujat	geometria, liikennemäärät ja -virrat, valo-ohjaus-järjestelyt, tavoitenopeudet, nopeusrajoitukset
Tulosparametrit	viivytykset, pysähdykset, kaistanvaihdot, suorit-teet, matka-ajat, keskinopeudet
Muut ominaisuudet	liikennevalojen ohjaus tapahtuu erillisellä liiken-nevalojen ohjauskojeella
Käyttöympäristö	PC-mikrotietokone, DOS-käyttöjärjestelmä, vä-hintään 386-prosessori
Viitteet	Kosonen 1996

Ohjelmisto	INTEGRATION
Suunnittelija	Queen's University, Kingston, Kanada
Suunnittelun aloitus	1980-luvun puoliväli
Jälleenmyyjä	<ul style="list-style-type: none"> • McTrans, University of Florida, USA hinta 395 \$ (12/96) • SODIP, Ranska
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	maantie- ja pääkatuverkko
Simuloitavat ilmiöt	<ul style="list-style-type: none"> • simuloi dynaamisessa liikenteessä erilaisia ajoneuvonkäyttäjätyyppejä, joilla voi olla erilainen ajantasaisen ja/tai historiallisen liikenneinformaation taso • tarkastelee liikennevirran käyttäytymistä yksittäisten itsensä sijoittelevien ajoneuvojen avulla.
Muuttujat	liikennemäärät ja -virrat, liikenteen vaihtelut, kuljettajien tieto edullisimmista reiteistä (opastus), informaation noudattaminen, linkkien kapasiteetti
Tulosparametrit	matka-ajat, suoritteet, matkanopeudet, pysähdykset, polttoaineenkulutus, päästöt, onnettomuusriski
Muut ominaisuudet	simuloinnin ja reitinvalinnan integraatio
Käyttöympäristö	<ul style="list-style-type: none"> • mikrotietokone, DOS-ympäristö, vähintään 386-prosessori ja paljon keskusmuistitilaa • UNIX
Viitteet	Van Aerde M ym. 1996, Smith E.J. (1996).

Ohjelmisto	MCONTRM
Suunnittelija	TRL, Iso-Britannia
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	
Liikenteen käsittelytapa	mesoskooppien
Tarkastelumittakaava	moottoritieverkko
Simuloitavat ilmiöt	reitinvalinta lähtö-määräpaikkatiedon perusteella, liikennehäiriöiden ja viitoituksen vaikutukset
Muuttujat	<ul style="list-style-type: none">• linkit, joilla yksittäiset ajoneuvot tai ajoneuvoryhmät saavat viestejä liikenteen tilasta• viestin lähettämisen ajankohta (viivytykset tiedottamisessa, ennakkovaroitukset• viesteihin reagoivien kuljettajien osuus
Tulosparametrit	liikennemäärät ja jonot linkeillä, ajalliset vaihte- lut
Muut ominaisuudet	perustuu CONTRAMIin
Käyttöympäristö	
Viitteet	Morin ym. 1991

Ohjelmisto	MELROSE (Mitsubishi ELectric corporation ROad traffic Simulation Environment)
Suunnittelija	Mitsubishi Electric corporation, Japani
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	katu- tai maantieverkko
Simuloitavat ilmiöt	kehitetty liikenteen hallintajärjestelmien, erityisesti valo-ohjauksen, toiminnan arvioimiseksi
Muuttujat	<ul style="list-style-type: none"> • verkkogeometria eli linkkien ja solmujen ominaisuudet (mm. kaistamäärä, nopeusrajoitus, liittymätyyppi) • liikennemäärä saapumispisteissä ja reiteillä, kääntyvien osuus liittymissä • valo-ohjauksen parametrit
Tulosparametrit	pystyy esittämään animaatioita ajoneuvojen liikkeistä ja tilastoja simuloinnin kuluessa
Muut ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none"> • simulointimallit muodostetaan oliopohjaisella ohjelmointitavalla, joka sallii mallien muokkauksen erilaisten liikenteen hallintajärjestelmien tutkimiseksi • ajoneuvojen liikkeitä simuloidaan diskreettiai-kamenetelmällä seuraavien ajoneuvon liikemallien mukaan: <ul style="list-style-type: none"> - ajoneuvon seuranta - valo-ohjauksen huomioonottaminen - ajo suoraan, kääntyminen - kaistanvaihto - odottaminen - liittyminen/erkaneminen
Käyttöympäristö	
Viitteet	Goto ym. 1995

Ohjelmisto	METANET
Suunnittelija	Kreetan teknillinen korkeakoulu
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	
Liikenteen käsittelytapa	makroskooppinen
Tarkastelumittakaava	usean lähtö- ja määräpaikan moottoritieverkot
Simuloitavat ilmiöt	<ul style="list-style-type: none"> • kaikenlaiset liikennetilanteet ja määritellyt kapasiteettia alentavat tapaukset (häiriöt), • liikenteenohjaustoimet, kuten ramppiohjaus ja kollektiivinen ja/tai yksilöllinen reittiohjaus
Muuttujat	<ul style="list-style-type: none"> • topologiset ja geometriset ominaisuudet • liikenneolot (vapaa/ jonoutunut/ ruuhkautunut, sijainti, voimakkuus, kesto)
Tulosparametrit	liikennemäärät, keskinopeudet
Muut ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none"> • simuloitavan verkon kuormituksesta (ajoneuvojen määrästä) riippumaton vähäinen tiedonkäsittelykapasiteetin tarve • mallin ajantasainen käyttö on mahdollista
Käyttöympäristö	VAX-VMS ja PC-versio Ohjelmoitu PASCALilla, mallinnusosan laajuus on noin sata komentoa ja ohjelman koko laajuus noin 2 500 komentoa
Viitteet	Morin ym. 1991

Ohjelmisto	MICSTRAN-II (MICroscopic Simulation model for TRAffic Networks)
Suunnittelija	National Research Institute for Police Science, Japani
Suunnittelun aloitus	1974
Jälleenmyyjä	
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	katuverkko
Simuloitavat ilmiöt	liittymätoiminnot, konfliktit eri kulkumuotojen kesken, kaistanvaihto, pysäköinti, ohittaminen
Muuttujat	liittymä- ja kaistamääritys vaihtoehtoisesti valitsemalla malleista, skannaamalla tai käsin syöttämällä
Tulosparametrit	numerotaulukot ja grafiikka liikenteen ominaispiirteistä (linkkien, alueiden ja verkon liikennemäärät, matka-ajat, kaistanvaihdot, aikavälit jne.), valo-ohjaus
Muut ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none"> • TRAS-TSC (Traffic Flow Simulator for Evaluation of Traffic Control) on liikenteen valo-ohjauksen arviointiin kehitetty työkalu, joka käyttää MICSTRAN-II:ta liikenteen kuvaamiseen
Käyttöympäristö	
Viitteet	Saito T., Yasui K., Fujii S., Itakura S. (1995)

Ohjelmisto	(TRAF-)NETSIM (versio 5.1, 1996)
Suunnittelija	U.S. Department of Transportation (DOT), Federal Highway Administration (FHWA); Viggen Corporation, McLean, USA
Suunnittelun aloitus	1970-luvun alussa Urban Traffic Control System (UTSC-1) -ohjelmassa
Jälleenmyynti	McTrans, University of Florida, USA hinta 350 \$ (12/96)
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	kaupunkimainen valo-ohjauksinen väyläjärjestelmä
Simuloitavat ilmiöt	yksittäisten ajoneuvojen mikroskooppinen, stokastinen simulointi
Muuttujat	ajoneuvo- ja kuljettajatyypit, liikennemäärät, liikenteen vaihtelut, lähtö- ja määräpaikat
Tulosparametrit	linkkien liikennemäärät ja matka-ajat
Muut ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none"> • yhdistää liikenteen sijoittelualgoritmin ja mikrosimuloinnin • liikenteen sijoittelumoduli on makroskooppinen virtojen määrittelijä, joka muuntaa lähtö/määräpaikkataulukon muodossa annetun liikenteen kysyntätiedon verkolle saapuviksi ajoneuvoiksi ja kääntymisosuuksiksi jokaisessa liittymässä.
Käyttöympäristö	
Viitteet	Hanebutte, Tentner 1995

Ohjelmisto	PARAMICS (PARAllel MICroscopic Simulator)
Suunnittelija	Quadstone Ltd. ja SIAS Ltd.
Suunnittelun aloitus	1993
Jälleenmyynti	<ul style="list-style-type: none"> • ohjelmistoa myydään kaupalliseen käyttöön • hinnat alkavat 50 000 \$:sta.
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	<ul style="list-style-type: none"> • kykenee simuloimaan reaaliaikaisesti liikenne-ympäristöjä yksittäisestä liittymästä valtakunnallisiin verkkoihin • skaalattava ohjelmisto käyttää rinnakkais-prosessointia, jonka avulla se pystyy käsittelemään tutkittavaa verkkoa lukuisissa pienissä alueissa
Simuloitavat ilmiöt	laajan alueen ruuhkautuminen, opastus ja liikenteenohjaus
Muuttujat	liikenneverkko, liikenteen lähtö- ja määräpaikat, valo-ohjaus, muuttuva opastus
Tulosparametrit	matka-ajat, liikennemäärät
Muut ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none"> • tarjoaa simuloinnin visualisoinnin, vuorovai- kutteisen verkkoeditorin, valo-ohjauksen sovi- tuksen ja liikenteen ohjauksen arvioinnin • malliin on mahdollista tuoda verkkotieto suo- raan esim. SATURNista ja liikennetieto lähtö- paikka/määräpaikkamatriisimuodossa • pystyy simuloimaan erilaisia telematiikkarat- kaisuja, kuten liikennevaloja, ramppiohjausta, muuttuvia nopeusrajoituksia ja ajoneuvopäätteitä • ohjelmistossa on uudelleenreititystoiminto, jonka joustavuutta voidaan ohjata käyttäytymis- säännöillä
Käyttöympäristö	UNIX-työasemaverkko, CRAY-supertietokone
Viitteet	PARAMICS on käytössä monissa projekteissa Isossa-Britanniassa ja Yhdysvalloissa palvelu/- konsulttiperusteisesti.

Ohjelmisto	SATURN (Simulation and Assignment of Traffic to Urban Street Networks) (Ver. 8.4)
Suunnittelija	The Institute of Transport Studies, Leedsin yliopisto, Englanti
Suunnittelun aloitus	kehitystyö alkoi vuonna 1979
Jälleenmyynti	McTrans, University of Florida, USA hinta 9750 \$ (12/96)
Liikenteen käsittelytapa	makroskooppinen
Tarkastelumittakaava	<ul style="list-style-type: none"> • ohjelmistolla voidaan tehdä sekä laajan liikenneverkon sijoittelua että verkon yksityiskohtaisempien osien simulointeja • sijoittelun ja simuloinnin tuloksia voidaan ohjelmistossa käyttää toistensa lähtötietoina • ohjelmistoa voidaan myös käyttää yksittäisten liittymien simulointiin sekä liikenneverkon tietokanta- ja analyysijärjestelmänä
Simuloitavat ilmiöt	<ul style="list-style-type: none"> • simulointi määrittää solmujen aiheuttamat viivytykset sijoittelun mukaisten linkkien liikennemäärien perusteella • simulointi tuottaa sijoittelulle lähtötiedoiksi liikennemäärä – matka-aika-riippuvaisuudet
Muuttujat	lähtötiedot syötetään ASCII-muotoisina tiedostoina
Tulosparametrit	tulostuksia saadaan sekä graafisina että ASCII-muotoisina.
Muut ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none"> • kaksitasoinen verkon kuvaus • sijoittelussa käytettävä verkko on linkkiperusteinen alueellinen verkko • simulointiverkko keskittyy solmujen kuvaukseen mallintaen yksityiskohtaisesti osa-alueita ja keskustoja • verkko voidaan kuvata tarvittaessa vain joko sijoitteluverkkona tai simulointiverkkona
Käyttöympäristö	<ul style="list-style-type: none"> • mainframe-versio, joka toimii monissa eri käyttöjärjestelmissä ja laiteympäristöissä • mikroversio, joka toimii 386-prosessorilla varustetuissa ja tehokkaammissa PC-mikroissa. • ohjelmointikieli Fortran • teknisesti avoin ohjelma, jota käyttäjät voivat muuttaa tai täydentää tarpeidensa mukaan
Viitteet	Salakka 1996

Ohjelmisto	SITRA B+
Suunnittelija	CERT/ONERA, Toulouse, Ranska
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	pienehkö katuverkko, myös suppeat maantie- ja moottoritieverkot
Simuloitavat ilmiöt	liikenteen toimivuus, valo-ohjaus, opastusjärjestelmä
Muuttujat	liikennevirrat ja kääntymisosuudet liittymissä tai lähtö-määräpaikkamatriisi, ajoneuvoluokat ja niiden pituus, autonseurantaominaisuudet, turvaväli ja reaktiotekijä
Tulosparametrit	<ul style="list-style-type: none"> • tunnusluvut, joita ovat matka-aika, keskinopeus, ajosuorite, pysähdysten määrä ja kesto, myös käyttöaste ja jononpituus • tunnusluvut koko verkon kaikista ajoneuvoista, jokaiselle ajoneuvoluokalle, kaikille reitti- ja ajoneuvoluokkayhdistelmille • tuloksia myös verkkoelementtejä, ajanjaksoja ja simulointikierrosta kohti
Muut ominaisuudet	
Käyttöympäristö	
Viitteet	Algers ym. 1996

Ohjelmisto	tiss-NET WIN (traffic impact simulation subsystems for road NETWORK for WINDOWs)
Suunnittelija	Saitaman yliopisto, Japani
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	
Liikenteen käsittelytapa	tiss-NET integroi liikenteen mikrosimuloinnin ja sijoittelun verkolle muutamien rajoituksin, esim. reitti määräytyy kokonaan lähtöpaikasta.
Tarkastelumittakaava	pienehkö katuverkko
Simuloitavat ilmiöt	mikrotason tapahtumat, kuten kadunvarsi-pysäköinti, pysäköintijonot, liittymätoiminnot jne.
Muuttujat	katuympäristön suunnitteludetaljit, pysäköinti, kuljettajien yksilölliset ominaisuudet
Tulosparametrit	matka-aika, liikennemäärät, pysähdykset ja pysähdysaika
Muut ominaisuudet	liikenteen sijoittelu
Käyttöympäristö	PC-mikrotietokone
Viitteet	Sakamoto ym. 1995

Ohjelmisto	TRANPLAN
Suunnittelija	
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	
Liikenteen käsittelytapa	makroskooppinen
Tarkastelumittakaava	laajan alueen liikennejärjestelmä
Simuloitavat ilmiöt	reitinvalinta, liikenneverkon toiminta
Muuttujat	<ul style="list-style-type: none"> tiet esitetään linkkeinä, joihin liitetään väylän laatua ja tyyppiä kuvaavia ominaisuustietoja, kuten kaistamäärä, nopeusrajoitus, pituus, ajonopeus, kapasiteetti ja ajoratatyypit
Tulosparametrit	raportteja ja analyysikuvia liikennemääristä, matka-ajoista jne.
Muut ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none"> toiminnoilla voi kuvata tieverkon, muodostaa matkamatriiseja ja kulkutapajakaumia ja sijoitella liikennettä laajalle verkolle interaktiivinen Network Information System - ohjelmisto toimii TRANPLANin graafisena käyttöliittymänä, jolla voi päivittää, analysoida ja ennustaa muutoksia ohjelmisto vertailee eri linkkien ominaisuuksia liikenteenvälityskyvyn arvioimiseksi järjestelmätasolla vertailu erottelee tiet jakamalla ne luokkiin
Käyttöympäristö	
Viitteet	Smith 1996

Ohjelmisto	TRANSYT-7F
Suunnittelija	Transport Research Laboratory, Englanti
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	MVA Systematica, Englanti
Liikenteen käsittelytapa	makroskooppinen
Tarkastelumittakaava	estimoi tarkasti valo-ohjauksisen pääkatuverkon toiminnallisia ominaispiirteitä
Simuloitavat ilmiöt	määritelty epädynaaminen liikenne valo-ohjauksisessa verkossa, valo-ohjauksen optimointi, uusien ohjaussuunnitelmien tehokkuuden arviointi
Muuttujat	liikenne, valo-ohjaus
Tulosparametrit	pysähdykset, viivytykset, polttoaineen kulutus
Muut ominaisuudet	voidaan kytkeä yhteen CONTRAMin kanssa INTRESS-ohjelman avulla
Käyttöympäristö	PC-tietokone
Viitteet	

Ohjelmisto	TRARR (TRAffic on Rural Roads)
Suunnittelija	Australian Road Research Board
Suunnittelun aloitus	1978
Jälleenmyynti	
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	tiejakso
Simuloitavat ilmiöt	kaksikaistaisen tien ajoneuvot
Muuttujat	ajoneuvon pituus, kiihtyvyys ja hidastuvuus sekä kuljettajan jono- ja ohituskäyttäytymistä kuvaavat parametrit, 18 erilaista ajoneuvo- ja kuljettajatyypin yhdistelmää
Tulosparametrit	yksityiskohtaisia tietoja liikennevirran nopeuksista ja ohitusten määrästä käyttäjän määrittelemissä tienkohdissa ja pidemmällä tiejaksoilla
Muut ominaisuudet	
Käyttöympäristö	
Viitteet	Siimes, H., Pursula, M. (1994). Kaksi- ja kolmikaistaisen tien liikennevirran simulointi. TKK Liikennetekniikka, julkaisu 80.

Ohjelmisto	VTI
Suunnittelija	VTI/KTH, Ruotsi
Suunnittelun aloitus	
Jälleenmyynti	
Liikenteen käsittelytapa	mikroskooppinen
Tarkastelumittakaava	maantieosuus
Simuloitavat ilmiöt	kaksikaistainen maantieliikenne, konfliktit, polttoaineen kulutus, vakionopeuden säätö
Muuttujat	<ul style="list-style-type: none">• tien leveys, nopeusrajoitus, kaarteisuus, mäki-syys, näkemät, ohituskiellot• ajoneuvotyyppi, tavoitenopeus, teho/massasuhde, aikaväli
Tulosparametrit	piste- tai osuuskohtainen nopeus, aikaväli, jononpituus, eri vapausasteiden osuus, polttoaineen kulutus, konfliktit
Muut ominaisuudet	
Käyttöympäristö	
Viitteet	O'Cinneide ym. 1995, Algiers ym. 1996

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 9/1997 Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen; Yhteenvedo. TIEL 3200457
- 10/1997 Valuation of Impacts of Road Traffic Emissions; Summary. TIEL 3200457E
- 11/1997 Betonipäällysten seuranta vt 4 Kempele-Kiviniemi. Kuntoraportti TIEL 3200458
- 12/1997 Alempiasteisen tieverkon strategiat. Tienpidon kohdentamisen vaikutukset kuljetuksiin. TIEL 3200459
- 13/1997 Tieliikenneolojen kokeminen Suomessa. Henkilö- ja kuorma-autoilijoiden mielipiteet tienpidon kehittämistarpeista. TIEL 3200460
- 14/1997 Vuoropuheluopas. TIEL 3200461
- 15/1997 Erikoiskovabitumistabilointikokeilut. TIEL 3200462
- 16/1997 Tiekokemus, tierakenteet ja taide. TIEL 3200463
- 17/1997 Autoilukokemus; Mekanisoitu liike ja virtualisoituva maisema. TIEL 3200464
- 18/1997 Syvästabiloinnin mitoitusohje. TIEL 3200465
- 19/1997 PAB-V-päällystetutkimukset 1996. TIEL 3200466
- 20/1997 Liikenne ja maankäyttö. TIEL 3200467
- 21/1997 Tien suunnittelun ja rakennussuunnittelun kehittäminen. Kehittämistarpeita koskeva selvitys. TIEL 3200468
- 22/1997 Muuttuvien keliopasteiden vaikutukset kuljettajan toimintaan. TIEL 3200469
- 23/1997 Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200470
- 24/1997 Haja-asutusalueiden vetovoimatekijät ja asukkaiden liikkumiskäyttäytyminen TIEL 3200471
- 25/1997 Ajokäyttäytyminen leveäkaistaisella moottoriliikennetiellä vt 12 Lahti - Uusikylä. TIEL 3200472
- 26/1997 Tavallisen ja leveäkaistaisen moottoriliikennetien liikennevirran ominaisuudet; Vt 12 Lahti-Uusikylä. TIEL 3200473
- 27/1997 Selvitys lin osayleiskaavoituksen ja vt 4:n yleissuunnittelun yhteensovittamisesta. TIEL 3200474
- 28/1997 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Tien kevennysrakenteet. TIEL 3200475
- 29/1997 Tielaitoksen ympäristöraportti 1996. TIEL 3200411-97
- 30/1997 Teiden pohjavesisuojausosuuksissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittäminen. TIEL 3200476
- 31/1997 Saksa ja Hollanti: toimivat liikenteen välttämisen strategiat. TIEL 3200477
- 32/1997 Simulointi liikenteen telematiikan vaikutusten tutkimusvälineenä. TIEL 3200478

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-363-5
TIEL 3200478